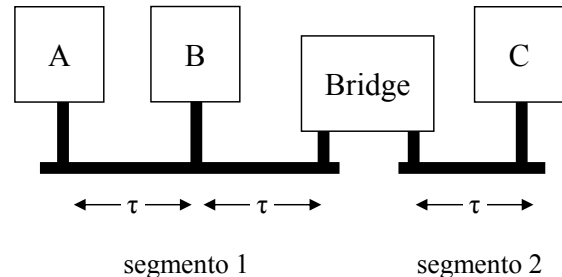


## Esercizio 1 (11 punti)

Un Bridge è attestato contemporaneamente su due segmenti distinti di rete, come mostrato in Figura; sul primo segmento sono attestate due stazioni (A e B), sul secondo una stazione (C). Il Bridge è un particolare tipo di stazione che memorizza ciascuna trama che arriva da un segmento di rete solo se destinata all'altro segmento di rete e, una volta ricevuta completamente, la ritrasmette sull'altro segmento (tale comportamento è valido, in modo indipendente l'uno dall'altro, in entrambi i sensi); le trame restano in memoria del Bridge fino a quando la trasmissione sull'altro segmento non è andata a buon fine.



Le stazioni generano trame dati destinate a una sola delle altre stazioni e quando una stazione riceve una trama destinata a lei, la elabora e risponde con una trama di acknowledge (destinata alla stazione che aveva inviato la trama con i dati).

Sul segmento 1 le stazioni A, B e il Bridge utilizzano per la trasmissione delle trame un protocollo CSMA persistent (1-persistent); sul segmento 2 la stazione C e il Bridge utilizzano un protocollo Slotted-Aloha e i semi associati alla stazione C e al bridge sono rispettivamente 12 e 20. In questa particolare configurazione, dunque, il Bridge funge da traduttore di protocollo. Le caratteristiche del sistema sono:

- velocità delle linee: 600 Kbit/s;
- lunghezza delle trame dati e delle trame di acknowledge: 1050 byte;
- il ritardo di propagazione tra A e B è uguale a quello tra B e il Bridge ed è pari a  $\tau$  (tau), ove  $\tau$  è pari a 3 msec; il ritardo tra il Bridge e C è nullo
- gli intervalli usati dallo Slotted-ALOHA sono pari al tempo di trama e iniziano a  $t=600$  msec.

La stazione A genera una trama destinata alla stazione C all'istante  $t_A=638$  msec; una volta ricevuta, la stazione C impiega 5 msec per elaborare la trama e dopo tale ritardo genera la trama di acknowledge. La stazione B genera 2 trame, una destinata alla stazione C e una alla stazione A, entrambe all'istante  $t_B=614$ , e le invia sequenzialmente in tale ordine (ovvero non trasmette la trama destinata ad A fino a quando non ha trasmesso correttamente la trama destinata a C). Una volta ricevuta, la stazione C impiega 5 msec per elaborare la trama e dopo tale ritardo genera la trama di acknowledge, mentre la stazione A impiega 76 msec per elaborare la trama e dopo tale ritardo genera la trama di acknowledge.

In caso di collisione nel segmento 1, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la fine della trasmissione della trama corrotta; il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

- si attende un tempo pari a  $Z = S_c * N + T$ , dove
  - $S_c$  = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$ .

In caso di collisione nel segmento 2, le stazioni ritrasmettono Z slot dopo (se  $Z=1$ , ritrasmettono lo slot successivo, se  $=2$  dopo 2 slot, ...); Z è il risultato della seguente operazione (viene considerato solo l'intero inferiore) :

- $\text{sqrt}(\text{seme associato alla stazione} * \text{numero di collisioni consecutive})$

ad esempio, se il seme è 35 e ci sono già state 2 collisioni,  $Z = \text{sqrt}(35*2) = 8$ .

Determinare:

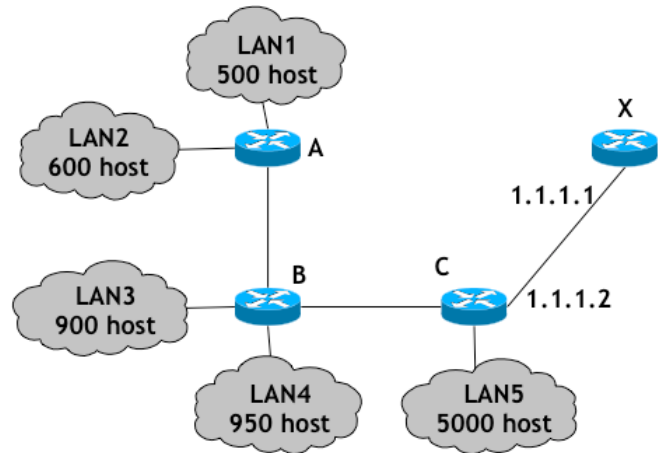
1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando se avviene collisione, in quali istanti essa viene eventualmente avvertita e da quali apparati (stazioni A, B, C o Bridge);
2. il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione.
3. [domanda aperta] Descrivere l'algoritmo CSMA 0-persistent.



## Esercizio 2 (12 punti)

Si consideri la rete rappresentata in Figura, collegata ad Internet attraverso il canale C-X (il router X è il router di default per la rete). Sapendo che ciascuna LAN ospita il numero di host indicato, e che ad un host di LAN-5 è stato assegnato l'indirizzo 191.0.185.211:

1. si assegnino gli indirizzi di rete e broadcast alle LAN 1, 2, 3, 4 e 5, minimizzando la dimensione del blocco CIDR assegnato alla rete, minimizzando la dimensione delle tabelle di routing dei router A, B e C, e predisponendo un blocco di indirizzi sufficiente a rispondere al quesito successivo (2);
2. si assegnino gli indirizzi a ciascuna interfaccia che insiste su un canale punto-punto (A-B e B-C);
3. si mostrino le tabelle di routing dei router A, C ed X.
4. [domanda aperta]: se la rete utilizzasse RIP come algoritmo di routing, in caso di guasto del link tra A e B, si possono verificare situazioni di routing loop?



## Esercizio 3 (10 punti)

Un'applicazione A deve trasferire 59.8 kbyte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 650 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A pari a 26 Kbyte, costante per tutto il tempo di trasmissione;
- Ssthresh iniziale =  $RCVWND / 2$ ;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 0.5 secondi, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- $RTO_{base} = 2 * RTT$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il  $RTO_{base}$ , dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nel seguente intervallo di tempo:

- da  $t_1=3.5s$  a  $t_2=4s$ ;
- da  $t_3=6.5s$  a  $t_4=7s$ .

Determinare:

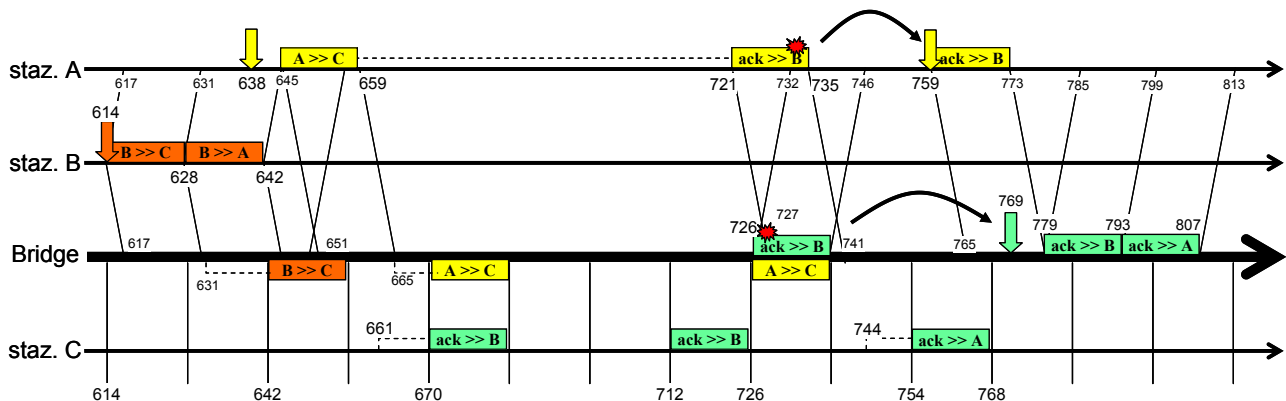
1. l'andamento della CWND nel tempo;
2. il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
3. i valori assunti dalla Ssthresh durante il trasferimento (graficamente);
4. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
5. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).
6. [domanda aperta] Come viene instaurata la connessione?



## SOLUZIONE

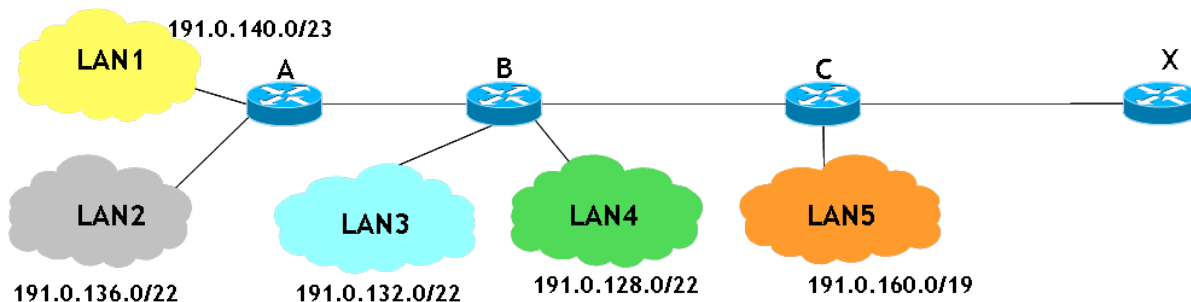
### Soluzione Esercizio 1

La figura mostra la trasmissione e le ritrasmissioni delle trame delle stazioni (A, B, C) e del bridge sui diversi segmenti di rete. Il tempo di trama è  $L/v$ , ovvero  $(1050 \cdot 8)/600000 = 14$  msec.



**Traccia di soluzione:** L'unica particolarità da sottolineare riguarda il segmento 2 (Slotted-ALOHA): la trama viene spedita non quando viene generata, ma all'inizio dello slot immediatamente successivo. Inoltre, il bridge riceve una trama dal lato Slotted-ALOHA mentre non ha ancora finito di gestire la trasmissione della precedente trama; il bridge, prima di trasmettere la nuova trama, completa la trasmissione della precedente.

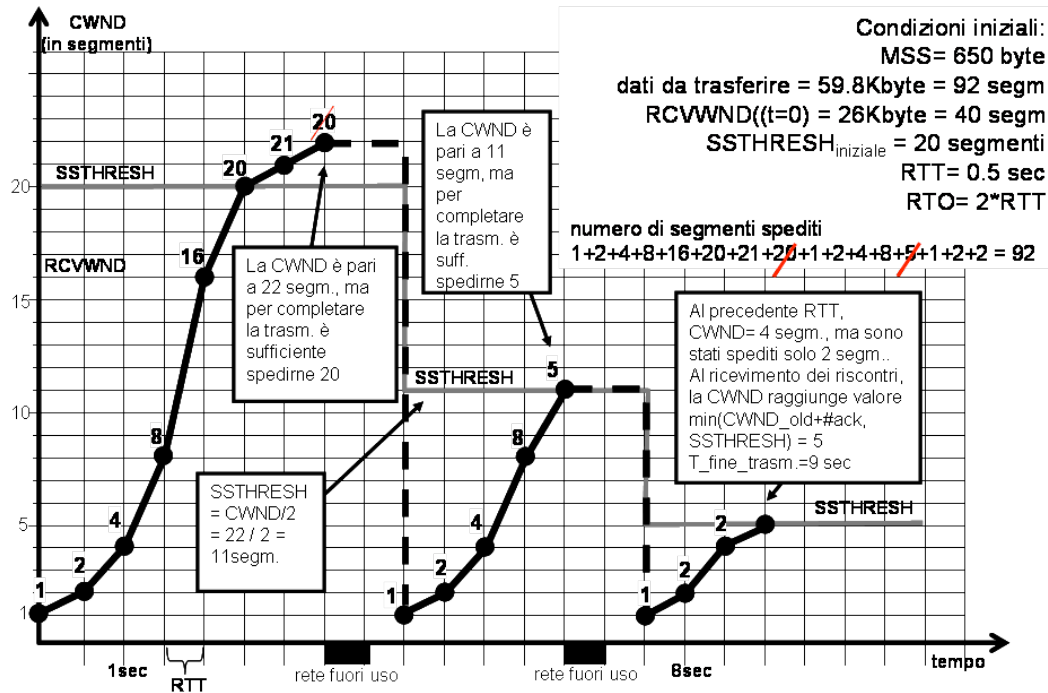
### Soluzione Esercizio 2



- ☐ 191.0.185.211 → 11000000    00000000    10111001    11010011
- ☐ LAN1 → /23
- ☐ LAN2 → /22
- ☐ LAN3 → /22
- ☐ LAN4 → /22
- ☐ LAN5 → /19
- ☐ Block for routers' interfaces: 191.0.142.0/23



### Soluzione Esercizio 3



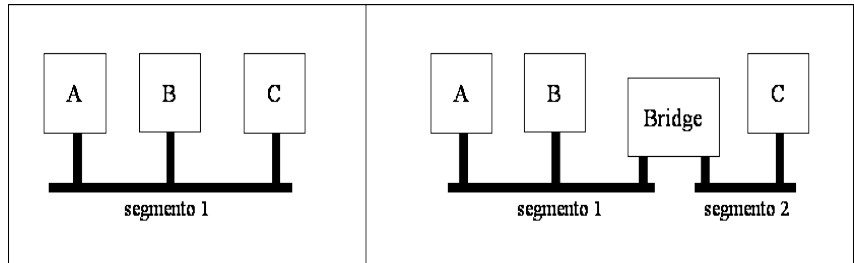
**Traccia di soluzione:** La trasmissione si conclude a  $T = 9$  sec con una CWND pari a 5 segmenti. A  $T = 8.5$  sec, infatti, la CWND è pari a 4 segmenti, ma per completare la trasmissione è sufficiente spedire 2; quando i 2 ack tornano indietro, la CWND viene calcolata come  $\min(\dots, SSTHRESH)$  ...



## Esercizio 1 (11 punti)

Tre stazioni (A, B e C) sono attestate al medesimo mezzo condiviso (figura di sinistra) e comunicano utilizzando il protocollo ALOHA; le caratteristiche del sistema sono le seguenti:

- velocità della linea: 1.6 Mbit/s;
- lunghezza delle trame: 1400 byte;
- ritardo di propagazione nullo;



Le stazioni A, B e C generano una trama a testa negli istanti  $t_A=312$  msec,  $t_B=316$  msec e  $t_C=314$  msec rispettivamente.

In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la fine della trasmissione della trama corrotta; il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

- si attende un tempo pari a  $Z = S_c * N + T$ , dove
  - $S_c$  = somma delle cifre che compongono l'istante di trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

ad esempio, se l'istante di trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$ .

Determinare:

1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando in quali istanti le tre stazioni riescono a trasmettere con successo. (*Suggerimento*: non fare disegni in scala, soprattutto durante i "silenzi", ma rispettare solo la proporzione nelle eventuali sovrapposizioni delle trame).

Si supponga poi che l'amministratore della rete decida di mettere un Bridge tra le stazioni B e C (si veda la figura, lato destro). Il Bridge è un particolare tipo di stazione che memorizza ciascuna trama che arriva da un segmento di rete e, una volta ricevuta completamente, la ritrasmette sull'altro segmento di rete (tale comportamento è valido, in modo indipendente l'uno dall'altro, in entrambi i sensi); le trame restano in memoria del Bridge fino a quando la trasmissione sull'altro segmento non è andata a buon fine. Anche il Bridge utilizza il protocollo ALOHA per comunicare. Si ipotizzi che le trame delle stazioni siano sempre dirette a tutte le altre stazioni.

Determinare:

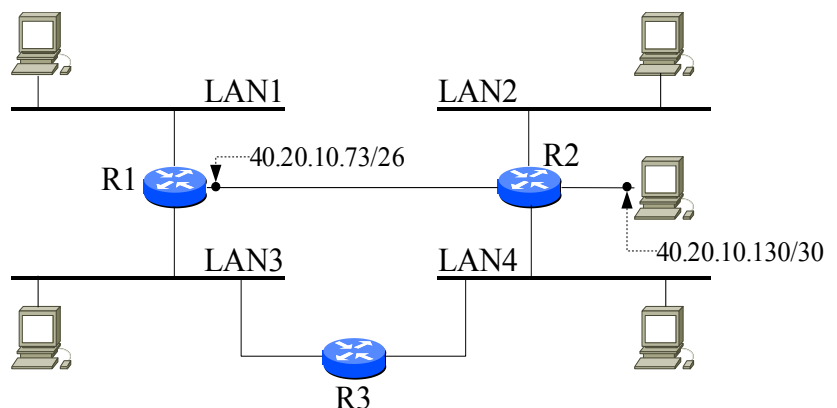
2. graficamente come sarebbe andata la trasmissione delle diverse trame nel caso in cui ci fosse stato il Bridge (vale lo stesso suggerimento di prima);
3. [domanda aperta] spiegare brevemente se l'amministratore di rete ha fatto in generale una buona scelta introducendo il bridge (*Suggerimento*: non focalizzatevi sul caso specifico, ma considerate se *in generale* le considerazioni che fate sul sistema sono vere)

## Esercizio 2 (11 punti)

Si consideri la rete IP disegnata nella seguente figura.

Avendo a disposizione il blocco CIDR 40.20.10.0/24

1. Assegnare il piano di indirizzamento alle 4 LAN secondo i due seguenti criteri:
  - a. massimizzare il numero di host per LAN;
  - b. tutte le LAN devono avere lo stesso numero di host.





2. Scrivere gli indirizzi di broadcast delle 4 LAN;
3. Scrivere la tabella di routing di R2, considerando come metrica il numero di hop verso una destinazione; in caso si possa raggiungere una destinazione attraverso percorsi multipli equivalenti, si mostrino tutte le differenti possibilità.
4. [domanda aperta]: se la rete utilizzasse RIP come algoritmo di routing, in caso di guasto del link tra R1 e R2, gli host attestati sulla LAN2 saranno ancora in grado di raggiungere le destinazioni attestate sulla LAN1?

### Esercizio 3 (11 punti)

Un'applicazione A deve trasferire 154.5 kbyte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 1500 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A pari a 24 Kbyte; a partire dal tempo  $t > 2$  sec la destinazione annuncia una RCVWND pari a 18 Kbyte; a partire dal tempo  $t > 3$  sec la destinazione annuncia una RCVWND pari a 27 Kbyte;
- Ssthresh iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 0.5 secondi, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- RTO base =  $2 \cdot \text{RTT}$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nel seguente intervallo di tempo:

- da  $t_1=4.5$ s a  $t_2=5$ s;
- da  $t_3=6$ s a  $t_4=9$ s.

Determinare:

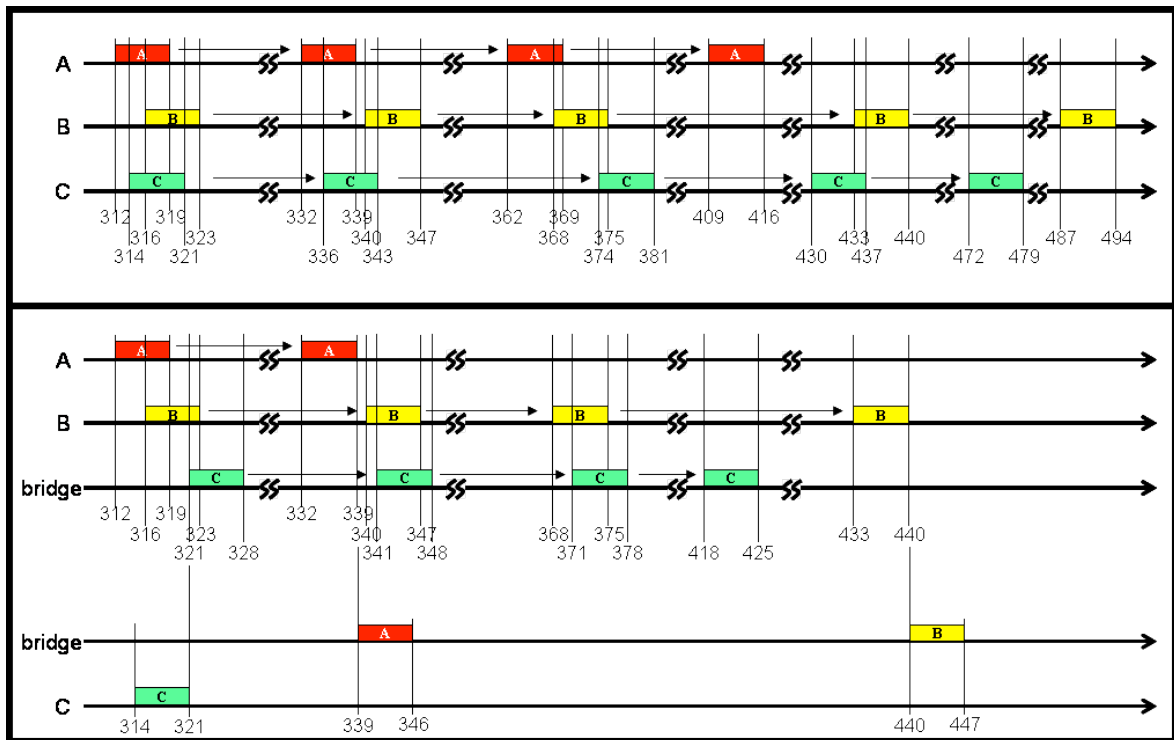
1. l'andamento della CWND nel tempo;
2. il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
3. i valori assunti dalla Ssthresh durante il trasferimento (graficamente);
4. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
5. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).
6. [domanda aperta] Come viene abbattuta la connessione?



## SOLUZIONE

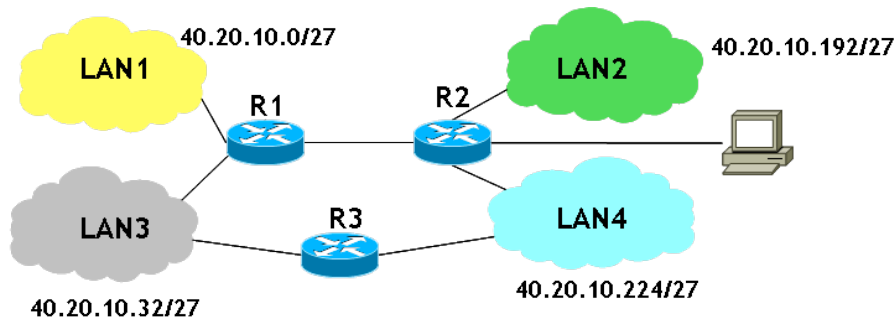
### Soluzione Esercizio 1

La figura mostra la trasmissione e le ritrasmissioni delle trame delle stazioni (A, B, C) sul segmento di rete. Il tempo di trama  $e' L/v$ , ovvero  $(1400*8)/1600000 = 7$  msec.



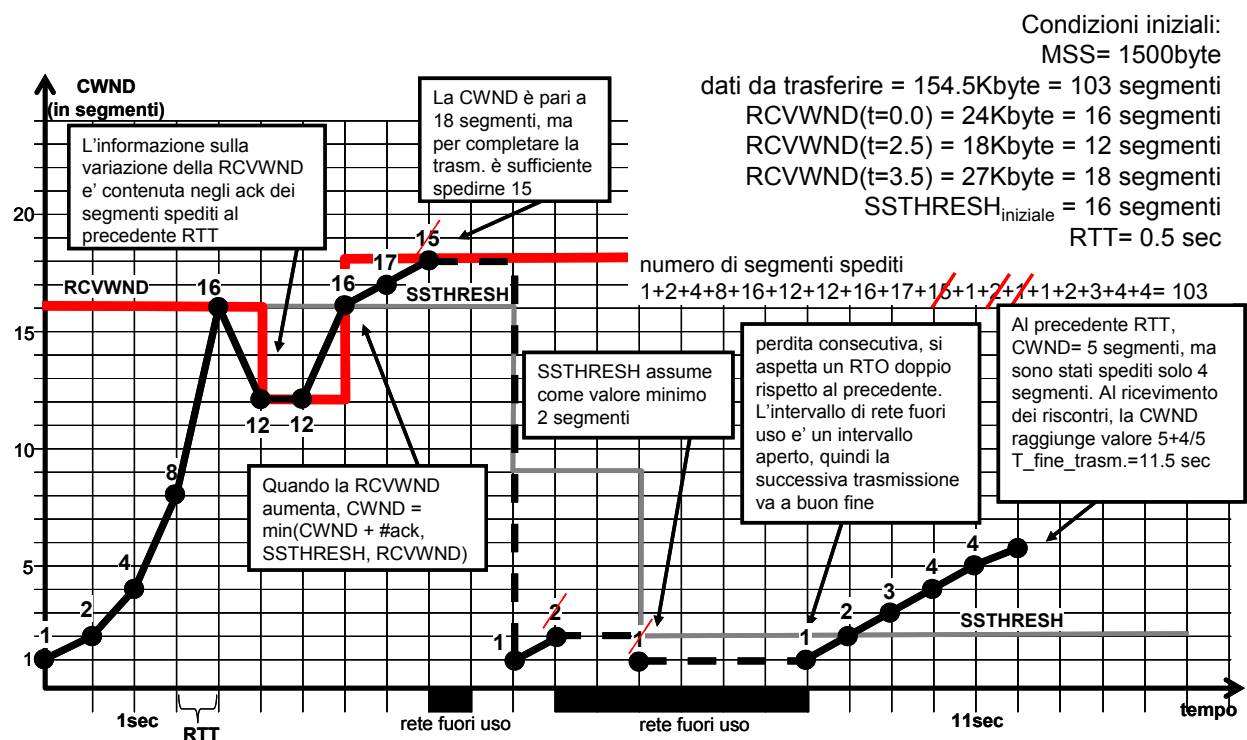
**Traccia di soluzione:** La trama A viene trasmessa correttamente a 409 msec, la trama B a 487 msec e la trama C a 430 msec. Nel caso del Bridge. La trama A viene trasmessa correttamente sull'altro segmento a 339 msec, la trama B a 440 msec e la trama C a 418 msec. L'introduzione del bridge non migliora la situazione, perché il numero di stazioni che si contendono il canale non cambia.

## Soluzione Esercizio 2



- ☐ 40.20.10.73/26 → 00101000 00010100 00001010 01001001
- ☐ 40.20.10.130/30 → 00101000 00010100 00001010 10000010
- ☐ Rimangono a disposizione solo indirizzi /26 in cui gli ultimi 2 bit della net-id sono 00 e 11, per un totale di  $2^6 * 2 = 128$  indirizzi da suddividere nelle 4 LAN

## Soluzione Esercizio 3



**Traccia di soluzione:** La trasmissione si conclude a T= 11.5 sec con una CWND pari a 5+4/5 segmenti. Da osservare la crescita della CWND fino alla SSTHRESH quando la RCVWND aumenta. Inoltre, gli intervalli di rete fuori uso sono intervalli aperti, quindi a T = 9 sec la trasmissione va a buon fine.



## Esercizio 1 (11 punti)

Un Bridge è attestato contemporaneamente su due segmenti distinti di rete, come mostrato in Figura; sul primo segmento sono attestate due stazioni (A e B), sul secondo una stazione (C). Il Bridge è un particolare tipo di stazione che memorizza ciascuna trama che arriva da un segmento di rete solo se destinata all'altro segmento di rete e, una volta ricevuta completamente, la ritrasmette sull'altro segmento (tale comportamento è valido, in modo indipendente l'uno dall'altro, in entrambi i sensi); le trame restano in memoria del Bridge fino a quando la trasmissione sull'altro segmento non è andata a buon fine.

Le stazioni generano trame dati destinate a una sola delle altre stazioni e quando una stazione riceve una trama destinata a lei, la elabora e risponde con una trama di acknowledge (destinata alla stazione che aveva inviato la trama con i dati).

Le stazioni e il Bridge utilizzano un protocollo CSMA persistent (1-persistent) per la trasmissione delle trame; le caratteristiche del sistema sono:

- velocità delle linee: 1 Mbit/s;
- lunghezza delle trame dati: 1750 byte;
- lunghezza delle trame di acknowledge: 750 byte;

Il ritardo di propagazione è un multiplo di  $\tau$  (tau), ove  $\tau$  è pari a 2 msec (ad es., il ritardo tra A e il bridge è pari a 4 ms).

La stazione A genera una trama destinata alla stazione C all'istante  $t_A=275$  msec; una volta ricevuta, la stazione C impiega 3 msec per elaborare la trama e dopo tale ritardo manda la trama di acknowledge.

La stazione B genera 2 trame, una destinata alla stazione C e una alla stazione A, entrambe all'istante  $t_B=350$ , e le invia sequenzialmente in tale ordine (ovvero non trasmette la trama destinata ad A fino a quando non ha trasmesso correttamente la trama destinata a C). Una volta ricevuta, la stazione C impiega 3 msec per elaborare la trama e dopo tale ritardo manda la trama di acknowledge, mentre la stazione A impiega 16 msec per elaborare la trama e dopo tale ritardo manda la trama di acknowledge.

La stazione C genera una trama destinata alla stazione A all'istante  $t_C=272$  msec; una volta ricevuta, la stazione A impiega 8 msec per elaborare la trama e dopo tale ritardo manda la trama di acknowledge.

In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la fine della trasmissione della trama corrotta; il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

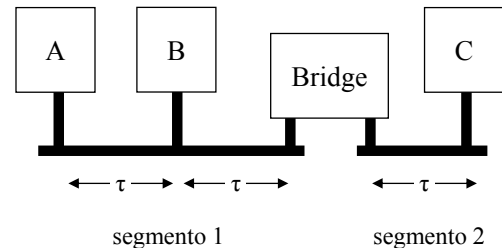
- si attende un tempo pari a  $Z = S_c * N + T$ , dove
  - $S_c$  = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$

Determinare:

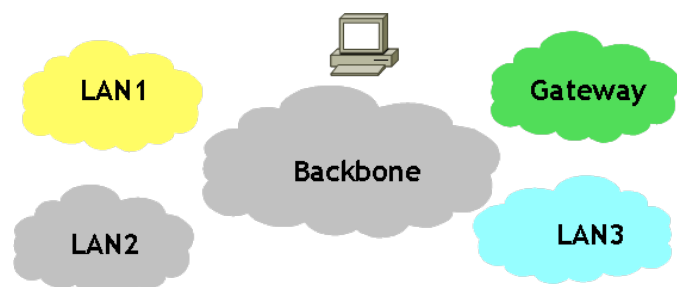
1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando se avviene collisione, in quali istanti essa viene eventualmente avvertita e da quali apparati (stazioni A, B, C o Bridge);
2. il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione;
3. [domanda aperta] proporre una soluzione che risolva i problemi legati al sistema.

Attenzione: se il sistema presenta comportamenti mai osservati finora nello studio della materia, ipotizzare la possibile evoluzione e le conseguenze nel caso in cui il sistema si comporta effettivamente come state sostenendo.



## Esercizio 2 (11 punti)

Si consideri la rete IP riportata nella seguente figura, costituita da 3 Reti Locali (LAN1, LAN2 e LAN3 rispettivamente), una rete gateway utilizzata come default route, un PC, ed una rete di backbone che interconnette le reti citate in precedenza.





Ipotesi iniziali:

- la rete di backbone è composta solamente da collegamenti punto-punto
- il PC è connesso direttamente ai nodi della rete di backbone

Scrivere in notazione barrata (a.b.c.d/x) l'indirizzo delle tre reti locali, minimizzando la dimensione del blocco CIDR e sapendo che:

- la rete locale LAN1 corrisponde al più piccolo blocco CIDR contenente gli indirizzi 130.15.27.255 e 130.15.28.0;
- la rete locale LAN2 è in grado di ospitare 63 host e ha come indirizzo di broadcast 62.15.123.127;
- la rete locale LAN3 è in grado di ospitare 1000 host e ha come indirizzo di rete l'indirizzo 10.0.0.0

Disegnare la topologia della rete di backbone, sapendo che è costituita da 6 router (R1, R2, R3, ... , R6) e conoscendo le seguenti tabelle (parziali) di routing. La metrica utilizzata nelle tabelle di routing rappresenta il numero di hop che il pacchetto IP deve attraversare per arrivare a destinazione (es. metrica '1' significa che il prossimo hop è quello indicato in destinazione, ovvero che si tratta di una consegna diretta).

Router 1 (R1)

Dest.	Netmask	Next Hop	Interface	Metric
LAN 2	unknown	dir	IF1	1
LAN 1	unknown	R2	IF2	2
PC	/30	R5	IF3	2
LAN 3	unknown	R6	IF4	2
LAN 1	unknown	R5	IF3	2
Default	/0	R5	IF3	3

Router 6 (R6)

Dest.	Netmask	Next Hop	Interface	Metric
PC	unknown	R3	IF1	2
LAN 3	unknown	dir	IF2	1
LAN 2	unknown	R4	IF3	2
Default	/0	R3	IF1	2

Quante sono le interfacce di rete presenti sull'host PC? Motivare la risposta.

### Esercizio 3 (11 punti)

Un'applicazione A deve trasferire 64800 byte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 900 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A pari a 19800 byte; al tempo  $t = 10$  sec la destinazione annuncia una RCVWND pari a 4500 byte;
- Ssthresh iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 0.5 secondi; a causa del guasto che manda la rete fuori uso la prima volta (i tempi in cui la rete va fuori uso sono specificati più sotto), i segmenti inviati successivamente devono seguire un percorso diverso con RTT pari a 2.5 secondi; durante il secondo periodo di rete fuori uso, il guasto viene riparato e i segmenti inviati successivamente alla riparazione tornano a sperimentare un RTT pari a 0.5 sec; il parametro alfa che rientra nel calcolo dell'RTT è uguale a zero, ovvero l'RTT attuale dipende solo dall'ultimo RTT misurato;
- RTO base =  $2 \cdot \text{RTT}$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nel seguente intervallo di tempo:

- da  $t_1=3s$  a  $t_2=3.5s$ ;
- da  $t_3=6.5s$  a  $t_4=7s$ .

Quando la rete va fuori uso, tutti i segmenti presenti in rete vengono persi.

Si tracci l'andamento della CWND nel tempo e si determini in particolare:

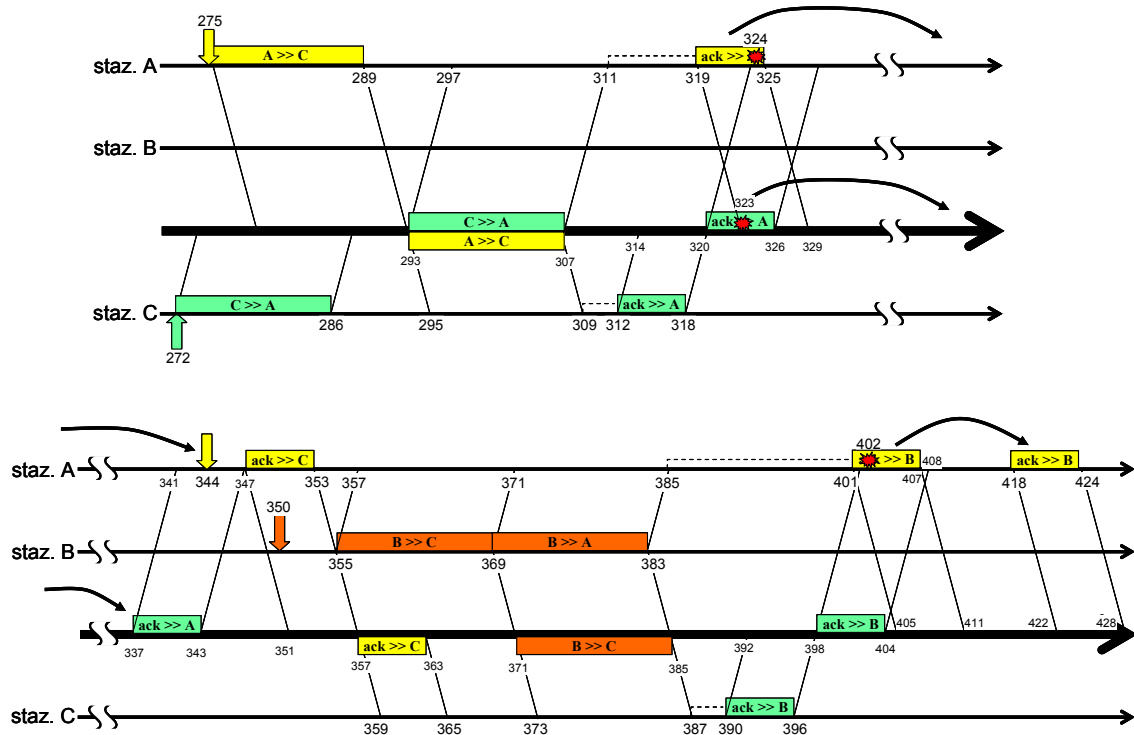


1. il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
2. i valori assunti dalla Ssthresh durante il trasferimento (graficamente);
3. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
4. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).
5. [domanda aperta]: come viene aggiornato il valor medio dell'RTT (SRTT) durante una connessione?

## SOLUZIONE

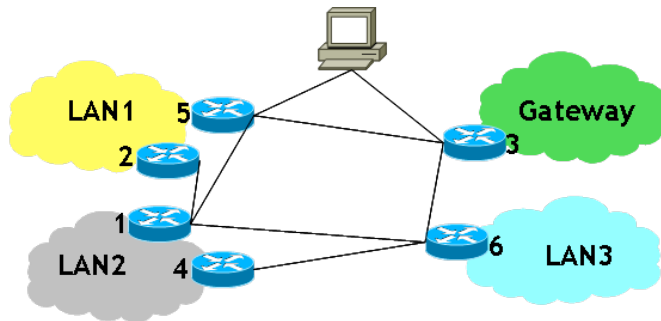
### Soluzione Esercizio 1

La figura mostra la trasmissione e le ritrasmissioni delle trame delle stazioni (A, B, C) sul segmento di rete. Il tempo di trama e'  $L/v$ , ovvero  $(1750*8)/1000000 = 14$  msec per le trame dati e  $(750*8)/1000000 = 6$  msec per le trame di acknowledge.



Il problema di fondo resta la dimensione troppo piccola della trama di acknowledge. Infatti il periodo di vulnerabilit  e' pari a 8 msec e con trame la cui trasmissione e' inferiore a tale valore si rischia di non percepire le collisioni. Il sistema e' dunque mal progettato. Una soluzione potrebbe essere imporre trame piu' lunghe o inserire un bridge tra A e B (molto vicino a B) per spezzare il dominio di collisione.

## Soluzione Esercizio 2



### LAN1

- 130.15.27.255 → 10000010 00001111 00011011 11111111
- 130.15.27.255 → 10000010 00001111 00011100 00000000
- Mask 130.15.24.0/21 → 10000010 00001111 00011000 00000000

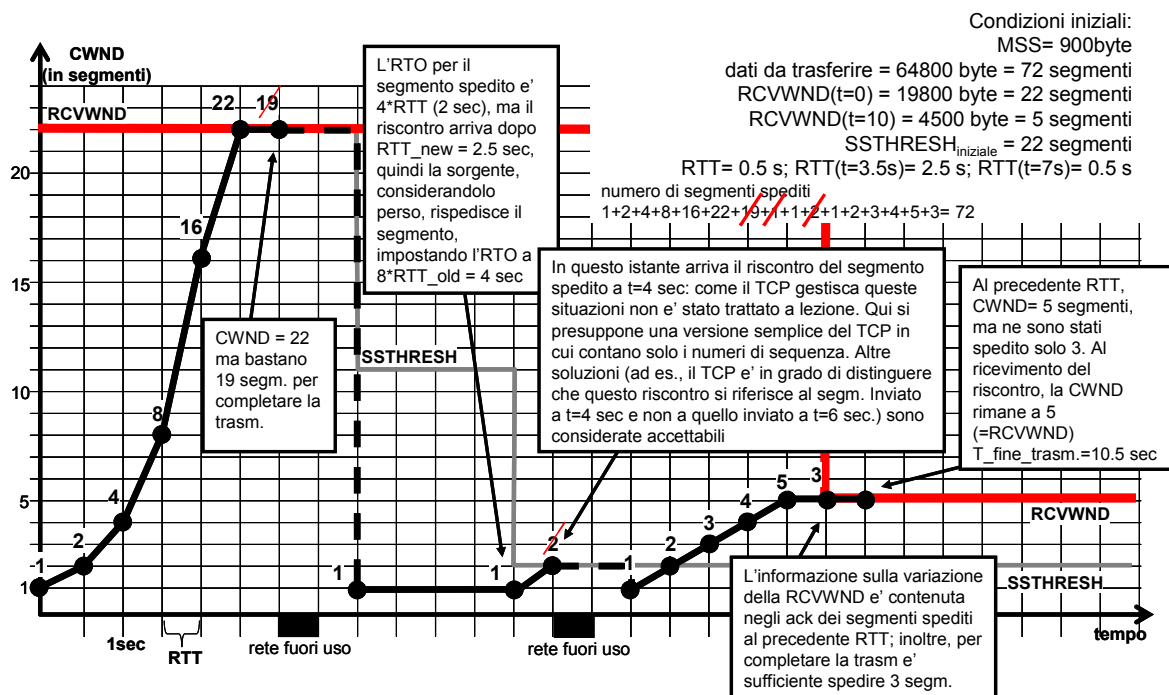
### LAN2

- 63 host, almeno 63+2+1 indirizzi, 7 bit → 62.15.123.0/25

### LAN3

- 1000 host, almeno 1000+2+1 indirizzi, 10 bit → 10.0.0.0/22

## Soluzione Esercizio 3



Il punto critico risiede nel fatto che il nuovo RTT e' piu' grande del timeout impostato per il segmento ritrasmesso, per cui inizialmente il TCP non si rende conto dell'avvenuto cambiamento.



### Esercizio 1 (11 punti)

Un Bridge è attestato contemporaneamente su due segmenti distinti di rete; agli estremi dei due segmenti di rete vi sono due stazioni A e B (si veda la figura sotto). Il Bridge è un particolare tipo di stazione che memorizza ciascuna trama che arriva da un segmento di rete e, una volta ricevuta completamente, la ritrasmette sull'altro segmento di rete (tale comportamento è valido, in modo indipendente l'uno dall'altro, in entrambi i sensi); le trame restano in memoria del Bridge fino a quando la trasmissione sull'altro segmento non è andata a buon fine.

Le stazioni e il Bridge utilizzano un protocollo CSMA persistent (1-persistent) per la trasmissione delle trame; le caratteristiche del sistema sono:

- velocità delle linee: 1.5 Mbit/s;
- lunghezza delle trame generate da A: 1500 byte;
- lunghezza delle trame generate da B: 1875 byte;
- ritardo di propagazione tra la stazione A e il Bridge: 1 msec;
- ritardo di propagazione tra la stazione B e il Bridge: 3 msec.

La stazione A genera 2 trame: una all'istante  $tA1=780$  msec e una all'istante  $tA2=817$  msec; la stazione B genera 2 trame, una all'istante  $tB1=780$  msec e una all'istante  $tB2=800$  msec.

In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la fine della trasmissione della trama corrotta; il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

- si attende un tempo pari a  $Z = Sc * N + T$ , dove
  - $Sc$  = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$

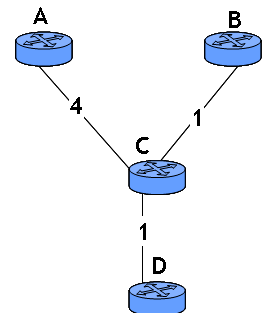
Determinare:

1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando se avviene collisione, in quali istanti essa viene eventualmente avvertita e da quali apparati (stazione A, B o Bridge);
2. il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione.
3. [domanda aperta]: Quant'è il valore massimo di ritardo di propagazione ammissibile?

### Esercizio 2 (11 punti)

Si consideri la rete mostrata in figura, ove è utilizzato l'algoritmo Distributed Bellman-Ford (DBF) classico senza alcun meccanismo aggiuntivo. Si ipotizzi che i router siano spenti, ovvero le tabelle di routing sono vuote. I router vengono accesi contemporaneamente al tempo  $t = 0$ . Una volta accesi, i router iniziano a mandare periodicamente il distance vector con le entry dei router conosciuti fino a quel momento.

1. Si mostrino i messaggi scambiati fino al raggiungimento di una situazione di regime;
2. Si mostrino i messaggi scambiati nel caso in cui il link tra C e B si guasti.
3. [domanda aperta]: Sarebbe servito implementare la variante Split-horizon? Sarebbe stato utile se si fosse usato un protocollo Link State, invece di un protocollo Distance Vector (che utilizza DBF)?



### Esercizio 3 (11 punti)

Un'applicazione A deve trasferire 76.5 kbyte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 900 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A pari a 14.4 Kbyte; a partire dal tempo  $t>0.5$  secondi la destinazione annuncia una RCVWND pari a 10.8 Kbyte; a partire dal tempo  $t>2.5$  secondi la destinazione annuncia una RCVWND pari a 14.4 Kbyte;
- Ssthresh iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 0.5 secondi, costante per tutto il tempo di trasferimento;



- $RTO_{base} = 2 * RTT$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il  $RTO_{base}$ ;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto  $RTT$ ;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti;

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio negli intervalli di tempo:

- da  $t_1=3.5s$  a  $t_2=5.5s$
- da  $t_3=10s$  a  $t_4=10.5s$

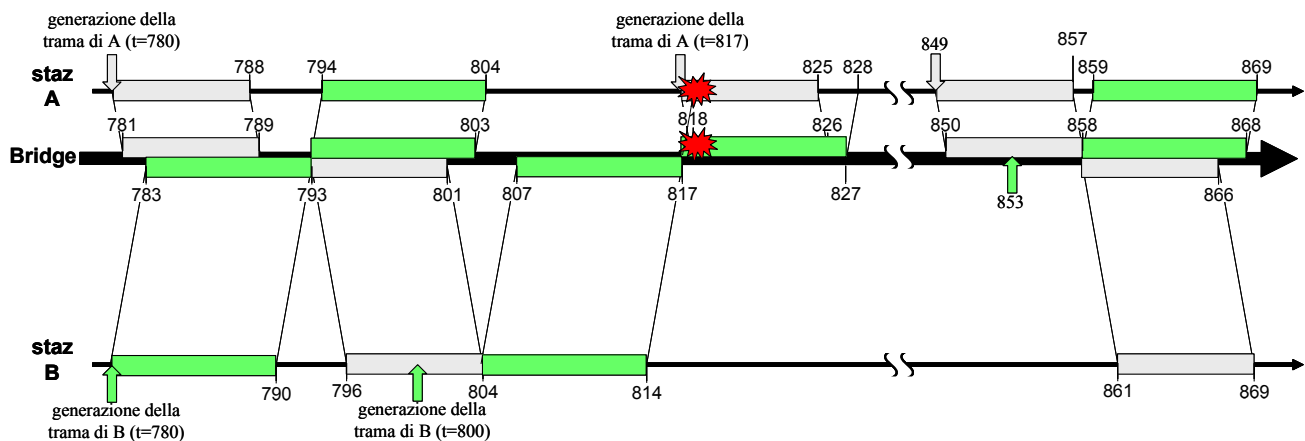
Si tracci l'andamento della  $CWND$  nel tempo e si determini in particolare:

1. il valore finale di  $CWND$  (sia graficamente, sia esplicitandolo);
2. i valori assunti dalla  $SSTHRESH$  durante il trasferimento (graficamente);
3. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
4. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).
5. [domanda aperta] Se il TCP, invece di dividere l'informazione in segmenti pari a  $MSS$ , utilizzasse segmenti pari a  $MSS/2$  cosa succederebbe? E se usasse segmenti pari a  $2MSS$ ?

## SOLUZIONE

### Soluzione Esercizio 1

La figura mostra la trasmissione e le ritrasmissioni delle trame delle stazioni (A, B, C) sul segmento di rete.



Seguono i calcoli svolti per determinare in quale istante le singole stazioni decidono di ritrasmettere.

- Tempo di trama
  - (staz. A)  $T = (\text{Lungh. trama})/(\text{Velocità di trasm}) = 1500 \cdot 8\text{bit}/1500000\text{bit/s} = 8 \text{ msec.}$
  - (staz. B e C)  $T = (\text{Lungh. trama})/(\text{Velocità di trasm}) = 1875 \cdot 8\text{bit}/1500000\text{bit/s} = 10 \text{ msec.}$
- Stazione A, trama A2:
  - $Z = (8+1+7) \cdot 1 + 8 = 24$ , istante di ritrasmissione =  $825 + 24 = 849$
- Stazione B, trama B2:
  - $Z = (8+1+7) \cdot 1 + 10 = 26$ , istante di ritrasmissione =  $827 + 26 = 853$

Per quanto riguarda il periodo di vulnerabilità del sistema, visto la presenza del Bridge che spezza il dominio di collisione, ci sono due periodi di vulnerabilità distinti per i due segmenti: nel segmento su cui sono attestati A e il Bridge, esso è 2 msec (pari al doppio del ritardo di propagazione); sul segmento su cui sono attestati B e il Bridge, esso è 6 msec (doppio del ritardo di propagazione).

### Soluzione Esercizio 2

La figura mostra le tabelle di routing e i distance vector inviati. In generale, quando un router viene acceso, conosce solo l'esistenza di sé stesso, per cui la sua tabella di routing contiene solo una riga (soluzione mostrata). Si può tuttavia pensare che l'amministratore di rete abbia introdotto nel router l'informazione sull'esistenza degli altri router della rete, mettendo come distanza "infinito".





Tabelle  
iniziali

Distance Vector  
ricevuti dai vicini

Tabelle dopo  
l'iterazione

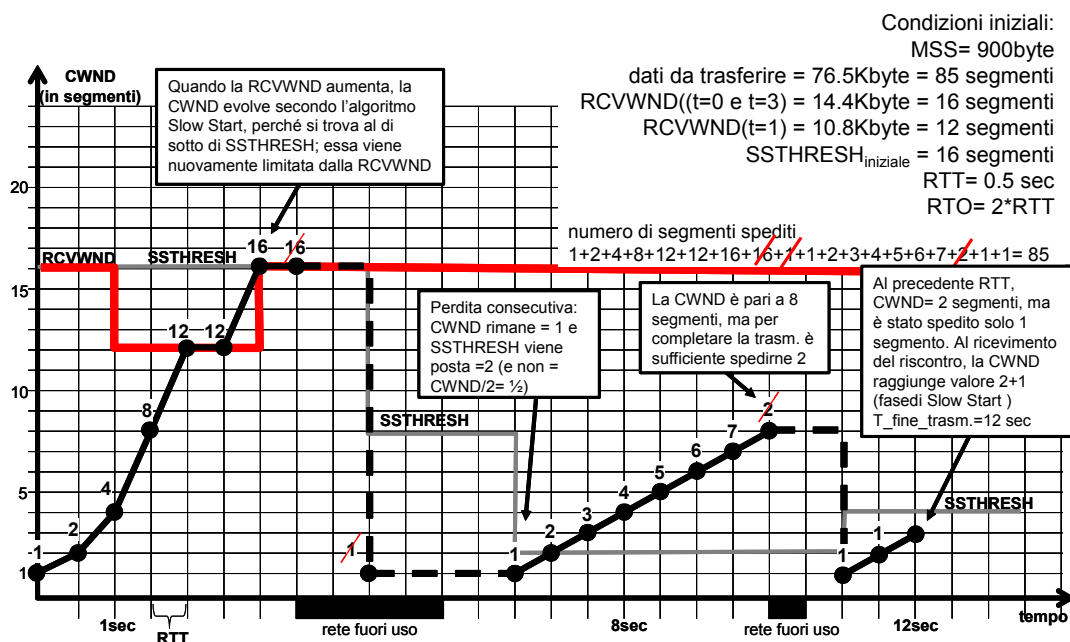
Distance Vector  
ricevuti dai vicini

Tabelle dopo  
l'iterazione

<div>A</div> <table><tr><td>da A</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>A</td><td>0</td><td>A</td></tr></table>	da A	dist	next	A	0	A	<table><tr><td>da C</td><td>dist</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td></tr></table>	da C	dist	C	0	<table><tr><td>da A</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>A</td><td>0</td><td>A</td></tr><tr><td>C</td><td>4</td><td>C</td></tr></table>	da A	dist	next	A	0	A	C	4	C	<table><tr><td>da C</td><td>dist</td></tr><tr><td>A</td><td>4</td></tr><tr><td>B</td><td>1</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td></tr><tr><td>D</td><td>1</td></tr></table>	da C	dist	A	4	B	1	C	0	D	1	<table><tr><td>da A</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>A</td><td>0</td><td>A</td></tr><tr><td>C</td><td>4</td><td>C</td></tr></table>	da A	dist	next	A	0	A	C	4	C																										
da A	dist	next																																																																		
A	0	A																																																																		
da C	dist																																																																			
C	0																																																																			
da A	dist	next																																																																		
A	0	A																																																																		
C	4	C																																																																		
da C	dist																																																																			
A	4																																																																			
B	1																																																																			
C	0																																																																			
D	1																																																																			
da A	dist	next																																																																		
A	0	A																																																																		
C	4	C																																																																		
<div>B</div> <table><tr><td>da B</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>B</td><td>0</td><td>B</td></tr></table>	da B	dist	next	B	0	B	<table><tr><td>da C</td><td>dist</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td></tr></table>	da C	dist	C	0	<table><tr><td>da B</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>B</td><td>0</td><td>B</td></tr><tr><td>C</td><td>1</td><td>C</td></tr></table>	da B	dist	next	B	0	B	C	1	C	<table><tr><td>da C</td><td>dist</td></tr><tr><td>A</td><td>4</td></tr><tr><td>B</td><td>1</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td></tr><tr><td>D</td><td>1</td></tr></table>	da C	dist	A	4	B	1	C	0	D	1	<table><tr><td>da B</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>A</td><td>5</td><td>C</td></tr><tr><td>B</td><td>0</td><td>B</td></tr><tr><td>C</td><td>1</td><td>C</td></tr><tr><td>D</td><td>2</td><td>C</td></tr></table>	da B	dist	next	A	5	C	B	0	B	C	1	C	D	2	C																				
da B	dist	next																																																																		
B	0	B																																																																		
da C	dist																																																																			
C	0																																																																			
da B	dist	next																																																																		
B	0	B																																																																		
C	1	C																																																																		
da C	dist																																																																			
A	4																																																																			
B	1																																																																			
C	0																																																																			
D	1																																																																			
da B	dist	next																																																																		
A	5	C																																																																		
B	0	B																																																																		
C	1	C																																																																		
D	2	C																																																																		
<div>C</div> <table><tr><td>da C</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td><td>C</td></tr></table>	da C	dist	next	C	0	C	<table><tr><td>da A</td><td>dist</td></tr><tr><td>A</td><td>0</td></tr></table> <table><tr><td>da B</td><td>dist</td></tr><tr><td>B</td><td>0</td></tr></table> <table><tr><td>da D</td><td>dist</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td></tr></table>	da A	dist	A	0	da B	dist	B	0	da D	dist	D	0	<table><tr><td>da C</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>A</td><td>4</td><td>A</td></tr><tr><td>B</td><td>1</td><td>B</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td><td>C</td></tr><tr><td>D</td><td>1</td><td>D</td></tr></table>	da C	dist	next	A	4	A	B	1	B	C	0	C	D	1	D	<table><tr><td>da A</td><td>dist</td></tr><tr><td>A</td><td>0</td></tr></table> <table><tr><td>da B</td><td>dist</td></tr><tr><td>B</td><td>0</td></tr></table> <table><tr><td>da C</td><td>dist</td></tr><tr><td>C</td><td>1</td></tr></table> <table><tr><td>da D</td><td>dist</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td></tr></table>	da A	dist	A	0	da B	dist	B	0	da C	dist	C	1	da D	dist	D	0	<table><tr><td>da C</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>A</td><td>4</td><td>A</td></tr><tr><td>B</td><td>1</td><td>B</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td><td>C</td></tr><tr><td>D</td><td>1</td><td>D</td></tr></table>	da C	dist	next	A	4	A	B	1	B	C	0	C	D	1	D
da C	dist	next																																																																		
C	0	C																																																																		
da A	dist																																																																			
A	0																																																																			
da B	dist																																																																			
B	0																																																																			
da D	dist																																																																			
D	0																																																																			
da C	dist	next																																																																		
A	4	A																																																																		
B	1	B																																																																		
C	0	C																																																																		
D	1	D																																																																		
da A	dist																																																																			
A	0																																																																			
da B	dist																																																																			
B	0																																																																			
da C	dist																																																																			
C	1																																																																			
da D	dist																																																																			
D	0																																																																			
da C	dist	next																																																																		
A	4	A																																																																		
B	1	B																																																																		
C	0	C																																																																		
D	1	D																																																																		
<div>D</div> <table><tr><td>da D</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>D</td></tr></table>	da D	dist	next	D	0	D	<table><tr><td>da C</td><td>dist</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td></tr></table>	da C	dist	C	0	<table><tr><td>da D</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>C</td><td>1</td><td>C</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>D</td></tr></table>	da D	dist	next	C	1	C	D	0	D	<table><tr><td>da C</td><td>dist</td></tr><tr><td>A</td><td>4</td></tr><tr><td>B</td><td>1</td></tr><tr><td>C</td><td>0</td></tr><tr><td>D</td><td>1</td></tr></table>	da C	dist	A	4	B	1	C	0	D	1	<table><tr><td>da D</td><td>dist</td><td>next</td></tr><tr><td>A</td><td>5</td><td>C</td></tr><tr><td>B</td><td>2</td><td>C</td></tr><tr><td>C</td><td>1</td><td>C</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>D</td></tr></table>	da D	dist	next	A	5	C	B	2	C	C	1	C	D	0	D																				
da D	dist	next																																																																		
D	0	D																																																																		
da C	dist																																																																			
C	0																																																																			
da D	dist	next																																																																		
C	1	C																																																																		
D	0	D																																																																		
da C	dist																																																																			
A	4																																																																			
B	1																																																																			
C	0																																																																			
D	1																																																																			
da D	dist	next																																																																		
A	5	C																																																																		
B	2	C																																																																		
C	1	C																																																																		
D	0	D																																																																		

Per quanto riguarda il secondo punto, lo scambio dei distance vector e l'aggiornamento delle tabelle e' simile a quello visto ad esercitazione, ovvero avremo il fenomeno di counting to infinity.

### Soluzione Esercizio 3





### Ulteriori esercizi su Livello 2 e TCP (in ordine sparso)

#### Esercizio Livello 2

Tre stazioni (A, B e C) sono attestate al medesimo mezzo condiviso e comunicano utilizzando il protocollo Slotted-ALOHA. La lunghezza delle trame (e la corrispettiva durata degli slot) non è uguale per tutte le stazioni: le stazioni A e C, infatti generano trame la cui durata è pari a T, mentre la stazione B genera trame di durata T/2. Gli slot sono sincronizzati tra loro, in modo tale che gli slot delle stazioni A e C inizino sempre lo stesso istante e contengano esattamente due slot della stazione B (gli istanti di inizio degli slot della stazione B dunque avverranno alternativamente in corrispondenza dell'inizio degli slot delle altre stazioni e in corrispondenza di metà slot). Si suppone che il tempo di propagazione sia nullo.

Ad ogni stazione è associato un seme che serve per la generazione dei numeri casuali: alle stazioni A e B il seme "12" e alla C è associato il seme "5".

Le stazioni A e B iniziano a trasmettere al primo slot, mentre la stazione C inizia lo slot successivo rispetto la trasmissione della stazione A.

In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z slot dopo (se  $Z=1$ , ritrasmettono lo slot successivo, se  $=2$  dopo 2 slot, ...); Z è il risultato della seguente operazione (viene considerato solo l'intero inferiore):

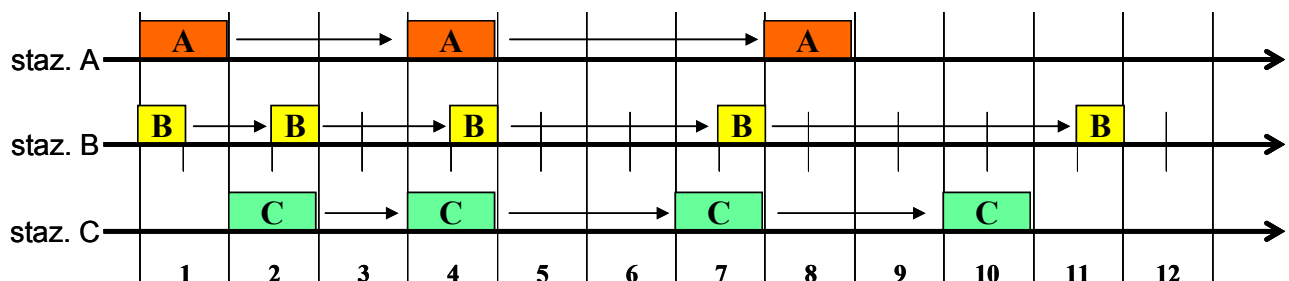
- $Z = \text{sqrt}(S*N)$ , dove
  - sqrt è l'operazione di radice quadrata;
  - S = seme della stazione;
  - N = numero di collisioni consecutive;

ad esempio, se il seme è 35 e ci sono già state 2 collisioni,  $Z = \text{sqrt}(35*2) = 8$

Si determini:

- graficamente l'evoluzione della trasmissione delle diverse trame, indicando i calcoli effettuati per determinare gli istanti di ritrasmissione in caso di collisione, fino a quando tutte le stazioni riescono a trasmettere con successo;
- il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione, giustificando il risultato (la sola indicazione del valore senza spiegazione non verrà considerata come risposta corretta).

#### SOLUZIONE Esercizio Livello 2



La figura mostra la trasmissione e le ritrasmissioni delle trame delle stazioni (A, B, C) sul segmento di rete. Seguono i calcoli svolti per determinare in quale istante le singole stazioni decidono di ritrasmettere. Da notare che il numero di slot è relativo a ciascuna



stazione, quindi, ad esempio, il terzo slot successivo alla trasmissione di B è uno slot che rientra nel secondo rispetto alla stazione A.

- Stazione A:
  - prima collisione,  $Z = \sqrt{12 \cdot 1} = 3$ , ovvero ritrasmette il terzo slot successivo;
  - seconda collisione,  $Z = \sqrt{12 \cdot 2} = 4$ , ovvero ritrasmette il quarto slot successivo.
- Stazione B:
  - prima collisione,  $Z = \sqrt{12 \cdot 1} = 3$ , ovvero ritrasmette il terzo slot successivo;
  - seconda collisione,  $Z = \sqrt{12 \cdot 2} = 4$ , ovvero ritrasmette il quarto slot successivo;
  - terza collisione,  $Z = \sqrt{12 \cdot 3} = 6$ , ovvero ritrasmette il sesto slot successivo.
- Stazione C:
  - prima collisione,  $Z = \sqrt{5 \cdot 1} = 2$ , ovvero ritrasmette il secondo slot successivo;
  - seconda collisione,  $Z = \sqrt{5 \cdot 2} = 3$ , ovvero ritrasmette il terzo slot successivo;
  - terza collisione,  $Z = \sqrt{5 \cdot 3} = 3$ , ovvero ritrasmette il terzo slot successivo.

Per quanto riguarda il periodo di vulnerabilità del sistema, esso è definito sempre come periodo in cui, inviata una trama, ci possono essere collisioni; nel caso in considerazione, il periodo di vulnerabilità è pari alla durata dello slot maggiore, ovvero pari a  $T$ .

### **Esercizio TCP**

Un'applicazione A deve trasferire 78 kbyte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 1200 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A pari a 24 Kbyte, costante per tutto il tempo di trasmissione;
- SSTHRESH iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 0.5 secondi, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- RTO base =  $2 \cdot \text{RTT}$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nel seguente intervallo di tempo:

- da  $t_1=2s$  a  $t_2=2.5s$ ;
- da  $t_3=6.5s$  a  $t_4=7s$ .

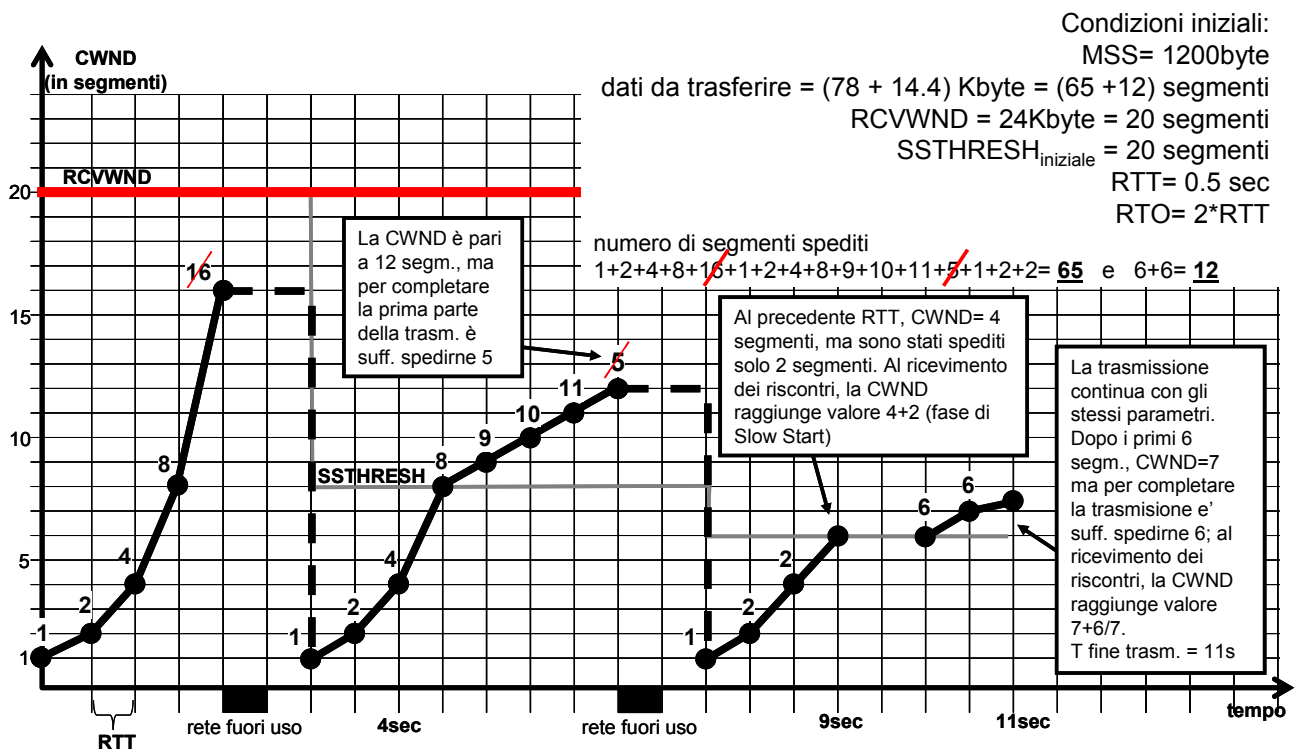
Si tracci l'andamento della CWND nel tempo e si determini in particolare:

- il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
- i valori assunti dalla SSTHRESH durante il trasferimento (graficamente);
- il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);

- il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).

Si supponga che al tempo  $t = 10$  s l'applicazione passi al TCP ulteriori dati (pari a 14.4 kbyte) da trasferire alla destinazione; ipotizzando che la sessione non scada mai (ovvero la connessione rimane in piedi anche se non vengono trasmessi dati, mantenendo i valori di tutti i parametri utilizzati nella trasmissione, senza necessità di re-instaurare una nuova connessione), si tracci l'andamento della CWND fino a fine trasmissione, determinando il valore finale della CWND, il tempo necessario di trasferimento e il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo.

### SOLUZIONE Esercizio TCP



### Esercizio Livello 2

Tre stazioni (A, B e C) sono attestate al medesimo mezzo condiviso e comunicano utilizzando il protocollo ALOHA; le caratteristiche del sistema sono le seguenti:

- velocità della linea: 1.2 Mbit/s;
- ritardo di propagazione nullo.

Le stazioni B e C generano trame di lunghezza fissa pari a 750 byte; la stazione A, invece, genera trame di lunghezza fissa pari al doppio della lunghezza delle trame generate dalle stazioni B e C.

I tempi di generazione delle trame delle diverse stazioni sono i seguenti:

- stazione A : una trama (A1) all'istante  $t_{A1}=417$  msec;
- stazione B : una trama (B1) all'istante  $t_{B1}=400$  msec;
- stazione C : una trama (C1) all'istante  $t_{C1}=397$  msec e una trama (C2) all'istante  $t_{C2}=460$  msec.



In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la fine della trasmissione della trama corrotta; il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

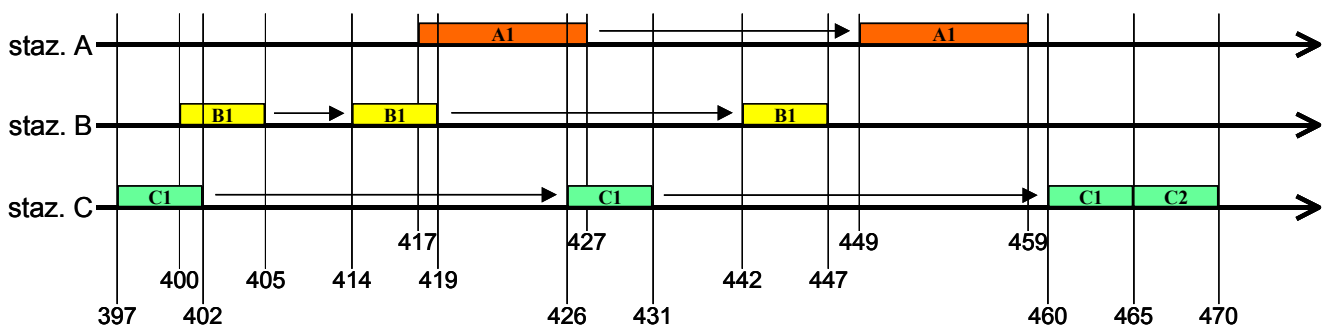
- si attende un tempo pari a  $Z = Sc * N + T$ , dove
  - Sc = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - N = numero di collisioni subite da quella trama
  - T tempo di trama

ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$

Si determini:

- graficamente l'evoluzione della trasmissione delle diverse trame, indicando i calcoli effettuati per determinare gli istanti di ritrasmissione in caso di collisione, fino a quando tutte le stazioni riescono a trasmettere con successo;
- il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione, giustificando il risultato (la sola indicazione del valore senza spiegazione non verrà considerata come risposta corretta).

### SOLUZIONE Esercizio Livello 2



La figura mostra la trasmissione e le ritrasmissioni delle trame delle stazioni (A, B, C) sul segmento di rete. Seguono i calcoli svolti per determinare in quale istante le singole stazioni decidono di ritrasmettere.

- Tempo di trama
  - (staz. A)  $T = (\text{Lungh. trama}) / (\text{Velocità di trasm}) = 1500 * 8 \text{bit} / 1200000 \text{bit/s} = 10 \text{ msec.}$
  - (staz. B e C)  $T = (\text{Lungh. trama}) / (\text{Velocità di trasm}) = 750 * 8 \text{bit} / 1200000 \text{bit/s} = 5 \text{ msec.}$
- Stazione A, trama A1:
  - prima collisione,  $Z = (4+1+7)*1+10=22$ , istante di ritrasmissione =  $427+22=449$
- Stazione B, trama B1:
  - prima collisione,  $Z = (4+0+0)*1+5=9$ , istante di ritrasmissione =  $405+9=414$
  - seconda collisione,  $Z = (4+1+4)*2+5=23$ , istante di ritrasmissione =  $419+23=442$
- Stazione C, trama C1:
  - prima collisione,  $Z = (3+9+7)*1+5=24$ , istante di ritrasmissione =  $402+24=426$
  - seconda collisione,  $Z = (4+2+6)*2+5=29$ , istante di ritrasmissione =  $431+29=460$



Per quanto riguarda la trama C2, essa viene generata proprio all'istante di ritrasmissione della trama C1; il comportamento della stazioni in casi del genere non viene specificato nel protocollo, ma viene lasciato libero nell'implementazione: è dunque possibile che le due trame, C1 e C2, vengano trasmesse sia come mostrato in figura, sia in ordine inverso (in generale, la trasmissione sequenziale delle trame risulta più ragionevole).

Per quanto riguarda il periodo di vulnerabilità del sistema, si allarga il ragionamento fatto per determinare il periodo di vulnerabilità nel caso di trame di lunghezza costante per tutte le stazioni: detto  $t_0$  l'istante di inizio trasmissione di una trama generata dalla stazione A, affinché non ci sia collisione, nessun'altra stazione deve iniziare a trasmettere nell'intervallo tra  $(t_0 - T_{B,C})$  e  $(t_0 + T_A)$ , dove  $T_{B,C}$  è il tempo di trama delle stazioni B e C pari a 5 msec e  $T_A$  è il tempo di trama della stazione A pari a 10 msec; lo stesso ragionamento si può replicare nel caso in cui siano le stazioni B o C ad iniziare a trasmettere. In definitiva il periodo di vulnerabilità è pari a 15 msec.

### **Esercizio TCP**

Un'applicazione A deve trasferire 61.2 kbyte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 900 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A pari a 18 Kbyte; a partire dal tempo  $t > 2.5$  secondi la destinazione annuncia una RCVWND pari a 19.8 Kbyte;
- Ssthresh iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 0.5 secondi, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- RTO base =  $2 * RTT$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nel seguente intervallo di tempo:

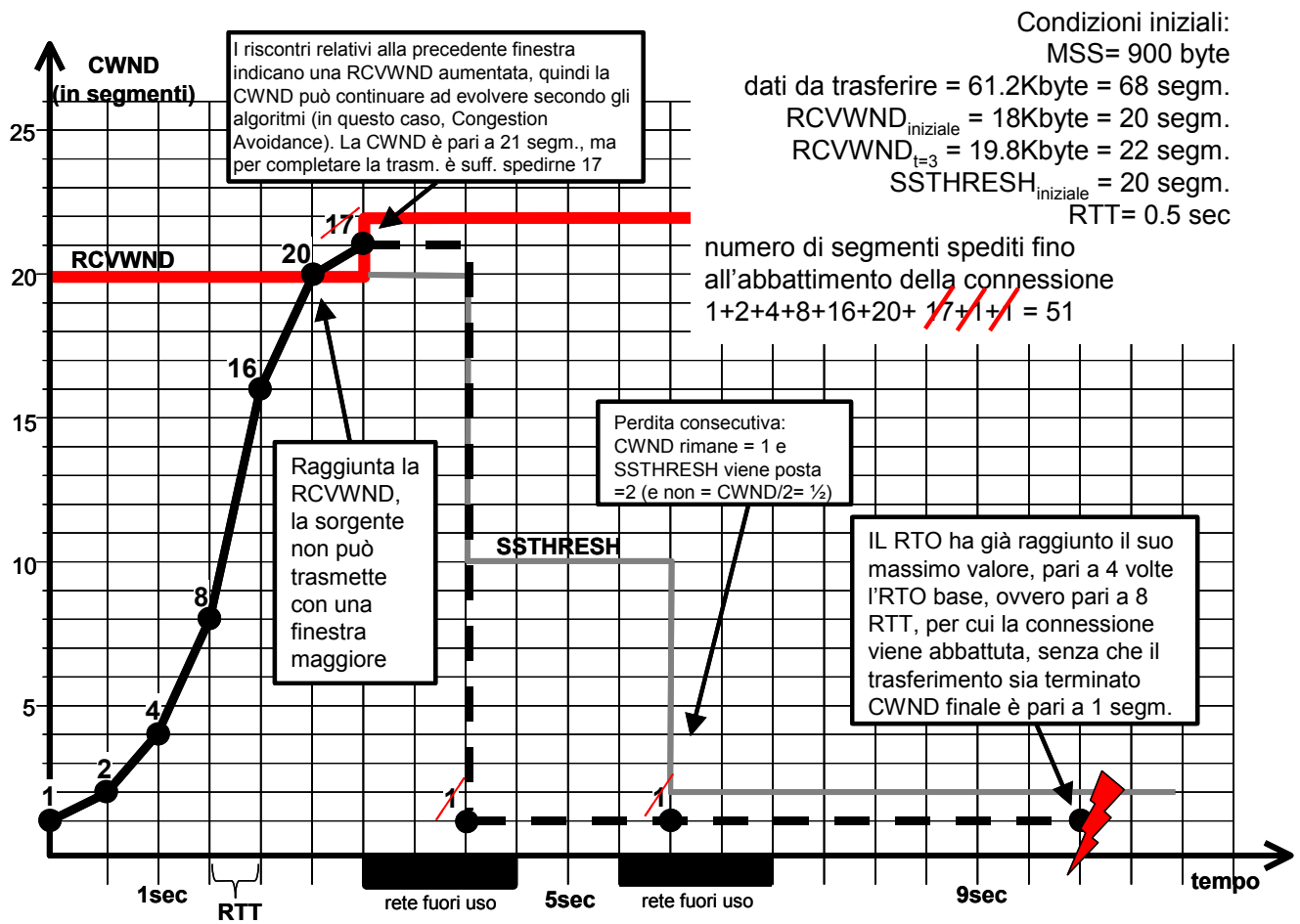
- da  $t_1 = 3s$  a  $t_2 = 4.5s$ ;
- da  $t_1 = 5.5s$  a  $t_2 = 7s$ .

Si tracci l'andamento della CWND nel tempo e si determini in particolare:

- il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
- i valori assunti dalla Ssthresh durante il trasferimento (graficamente);
- il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
- il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).



### SOLUZIONE Esercizio TCP





## Temì d'esame senza soluzione

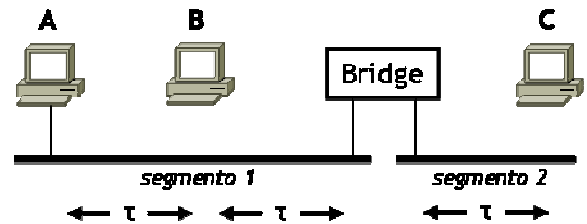




- Scrivere **nome, cognome** e **numero di matricola** su ciascun foglio che si intende consegnare (non è obbligatorio consegnare la brutta copia)
- I risultati verranno pubblicati sugli avvisi della pagina del corso **Giovedì 24 Giugno dopo le 16**
- La correzione dei temi d'esame può essere visionata durante la registrazione
- **Orali** (facoltativi) e **registrazioni** si terranno **Venerdì 16 Luglio** alle 14.30 in aula L

### Esercizio 1 (11 punti)

Un Bridge è attestato contemporaneamente su due segmenti distinti di rete; sul segmento 1 ci sono due stazioni, A e B, e sul segmento 2 vi è una stazione C (si veda la figura a fianco). Il Bridge è un particolare tipo di stazione che memorizza ciascuna trama che arriva da un segmento di rete e, una volta ricevuta completamente, la ritrasmette sull'altro segmento di rete (tale comportamento è valido, in modo indipendente l'uno dall'altro, in entrambi i sensi); le trame restano in memoria del Bridge fino a quando la trasmissione sull'altro segmento non è andata a buon fine.



Le stazioni e il Bridge utilizzano un protocollo CSMA persistente (1-persistent). Le caratteristiche del sistema sono:

- velocità del segmento 1: 600 kbit/s;
- velocità del segmento 2: 1200 kbit/s;
- lunghezza delle trame generate dalle stazioni: 900 byte;
- ritardo di propagazione tra la stazione A e B, tra B e il Bridge e tra il Bridge e C: 1 msec;

Le stazioni generano le seguenti trame:

- stazione A: una trama (A1) all'istante  $tA1=511$  msec diretta a C e una trama (A2) all'istante  $tA2=531$  msec diretta a B;
- stazione B: una trama (B1) all'istante  $tB1=545$  msec diretta a C;
- stazione C: una trama (C1) all'istante  $tC1=514$  msec diretta a B e una trama (C2) all'istante  $tC2=533$  msec diretta a A;

In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la fine della trasmissione della trama corrotta (in questo caso, dopo l'istante in cui si è avvertita la collisione e si è smesso di trasmettere); il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

- si attende un tempo pari a  $Z = Sc * N + T$ , dove
  - $Sc$  = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

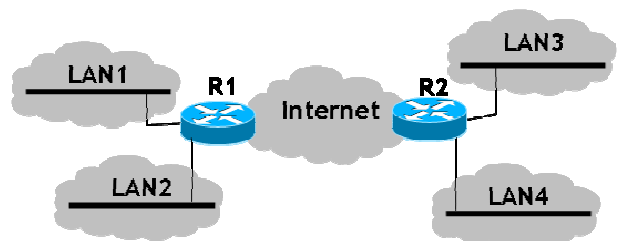
ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$

Determinare:

1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando se avviene collisione, in quali istanti essa viene eventualmente avvertita e da quali apparati;
2. il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione.
3. [domanda aperta]: Si illustri la variante del CSMA chiamata CSMA-CA (Collision Avoidance) utilizzata nelle wireless LAN.

### Esercizio 2 (11 punti)

Ad un'azienda che possiede due sedi in due città diverse viene assegnato un blocco CIDR. Tale azienda dovrà suddividere il blocco tra le sue diverse sottoreti. La figura mostra la configurazione delle sottoreti. Ciascuna delle due sedi ha due sottoreti: LAN1 e LAN2, per la prima sede, LAN3 e LAN4 per la seconda sede. Si considerino i vincoli seguenti:



- Nella LAN2 un server deve avere indirizzo 205.12.74.32;
- Le LAN1 e LAN2 devono poter contenere 1000 host ciascuna;
- La LAN3 e LAN4 devono poter contenere 500 host ciascuna;
- (importante) L'assegnazione degli indirizzi deve minimizzare le tabelle di routing e gli advertisement inviati dai router.



In base ai suddetti vincoli:

1. Si scriva il più piccolo blocco CIDR che soddisfa i suddetti vincoli;
2. Partendo da tale blocco CIDR, si scriva un piano di indirizzamento per tutte le LAN;
3. Si scrivano le tabelle di routing del router R1, supponendo che il router R2 sia raggiungibile con tre hop e tutti gli host su Internet siano raggiungibili con cinque hop attraverso un router (non mostrato in figura) R3.
4. [domanda aperta]: Si spieghi, attraverso un esempio, come viene utilizzato il campo "Fragment Offset" dell'header IP.

### **Esercizio 3 (11 punti)**

Un'applicazione A deve trasferire 72000 byte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 1200 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A durante l'instaurazione della connessione pari a 19200 byte, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- SSTHRESH iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 0.5 secondi, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- RTO base =  $2 \cdot \text{RTT}$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nei seguenti intervalli di tempo:

- da  $t_1=3s$  a  $t_2=3.5s$ ;
- da  $t_3=5.5s$  a  $t_4=6s$ .

Si tracci l'andamento della CWND nel tempo e si determini in particolare:

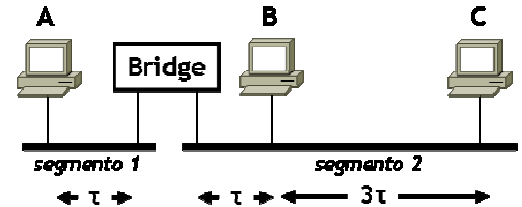
1. il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
2. i valori assunti dalla SSTHRESH durante il trasferimento (graficamente);
3. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
4. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).
5. [domanda aperta]: Si consideri il seguente caso (con riferimento all'esercizio). Si assuma che esista un baco nella versione del TCP del ricevitore: a partire dal 56-esimo segmento (incluso) il valore dell'ack viene decrementato di 1. Ad esempio, se A invia il segmento 56, B dovrebbe inviare un ack indicando che si aspetta il segmento 57, mentre, con tale baco, invia un ack indicando che si aspetta il segmento 56. Mostrare, in tal caso, il comportamento del sistema (CWND nel tempo e segmenti inviati).



- Scrivere **nome, cognome** e **numero di matricola** su ciascun foglio che si intende consegnare (non è obbligatorio consegnare la brutta copia)
- I risultati verranno pubblicati sugli avvisi della pagina del corso **Lunedì 26 Luglio dopo le 19**
- La correzione dei temi d'esame può essere visionata durante la registrazione
- **Orali** (facoltativi) e **registrazioni** si terranno **Martedì 27 Luglio** alle 14.30 in aula L

### Esercizio 1 (11 punti)

Un Bridge è attestato contemporaneamente su due segmenti distinti di rete; sul segmento 1 c'è una stazione, A, mentre sul segmento 2 ci sono due stazioni, B e C (si veda la figura a fianco). Il Bridge è un particolare tipo di stazione che memorizza ciascuna trama che arriva da un segmento di rete e, una volta ricevuta completamente, la ritrasmette sull'altro segmento di rete (tale comportamento è valido, in modo indipendente l'uno dall'altro, in entrambi i sensi); le trame restano in memoria del Bridge fino a quando la trasmissione sull'altro segmento non è andata a buon fine.



Le stazioni e il Bridge utilizzano un protocollo CSMA persistent (1-persistent). Le caratteristiche del sistema sono:

- velocità dei segmenti: 700 kbit/s;
- lunghezza delle trame generate dalle stazioni: 1400 byte;
- ritardo di propagazione tra la stazione A e Bridge, tra Bridge e B: 1 msec;
- ritardo di propagazione tra la stazione B e C: 3 msec;

Le stazioni generano le seguenti trame:

- stazione A: una trama (A1) all'istante  $tA1=219$  msec diretta a C e una trama (A2) all'istante  $tA2=253$  msec diretta a B;
- stazione B: una trama (B1) all'istante  $tB1=250$  msec diretta ad A;
- stazione C: una trama (C1) all'istante  $tC1=220$  msec diretta a B e una trama (C2) all'istante  $tC2=270$  msec diretta a B;

In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la collisione; il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

- si attende un tempo pari a  $Z = Sc * N + T$ , dove
  - $Sc$  = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$

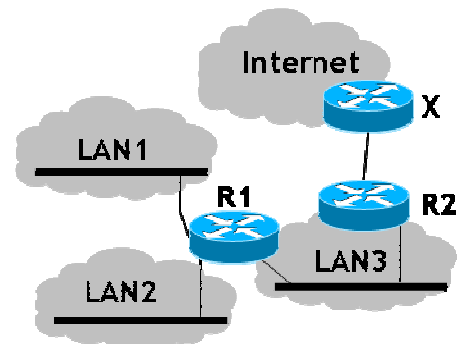
Determinare:

1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando se avviene collisione, in quali istanti essa viene eventualmente avvertita e da quali apparati;
2. il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione.
3. [domanda aperta]: Si dia la definizione (anche intuitiva) di dominio di collisione e dominio di broadcast.

### Esercizio 2 (11 punti)

La rete rappresentata nella figura a lato è composta da due router R1, R2 e da tre LAN1-3, ed è interconnessa ad Internet tramite un canale punto-punto attestato presso il router X. Si considerino i vincoli seguenti:

- L'indirizzo di broadcast di LAN 2 è 82.83.111.255;
- Le LAN1, LAN2 e LAN3 devono poter contenere almeno 600 host ciascuna;
- (importante) L'assegnazione degli indirizzi deve minimizzare le tabelle di routing e gli advertisement inviati dai router R1, R2 e X.



In base ai suddetti vincoli:

1. Si scriva il più piccolo blocco CIDR che soddisfa i suddetti vincoli;



2. Partendo da tale blocco CIDR, si scriva un piano di indirizzamento per tutte le LAN;
3. Si scrivano le tabelle di routing del router R2, supponendo che il router X abbia dichiarato di poter raggiungere tutti gli host su Internet con 3 hop.
4. [domanda aperta]: Si descriva, anche aiutandosi con un esempio, il principio di funzionamento del NAT.

### **Esercizio 3 (11 punti)**

Un'applicazione A deve trasferire 112500 byte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 1500 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A durante l'instaurazione della connessione pari a 24000 byte; nei riscontri inviati da B a partire dal tempo  $t > 5.1$  secondi, la destinazione annuncia una RCVWND pari a 18000 Kbyte; nei riscontri inviati da B a partire dal tempo  $t > 7.1$  secondi, la destinazione annuncia una RCVWND pari a 6000 Kbyte; nei riscontri inviati da B a partire dal tempo  $t > 12.1$  secondi, la destinazione annuncia una RCVWND pari a 24000 Kbyte;;
- Ssthresh iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 1.0 secondo, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- RTO base =  $2 * RTT$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nei seguenti intervalli di tempo:

- da  $t_1=7.5s$  a  $t_2=8.5s$ ;
- da  $t_3=13.5s$  a  $t_4=14.5s$ .

Si tracci l'andamento della CWND nel tempo e si determini in particolare:

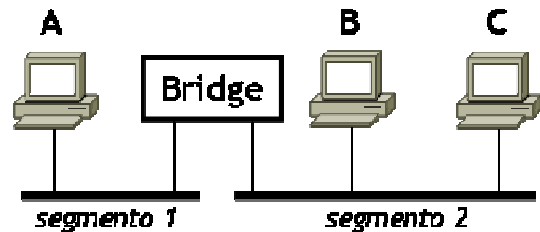
1. il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
2. i valori assunti dalla Ssthresh durante il trasferimento (graficamente);
3. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
4. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).
5. [domanda aperta]: si descriva come il TCP calcola il Round Trip Time (RTT) e il Retransmission Timeout (RTO).



- Scrivere **nome, cognome** e **numero di matricola** su ciascun foglio che si intende consegnare (non è obbligatorio consegnare la brutta copia)
- I risultati verranno pubblicati sugli avvisi della pagina del corso **Lunedì 6 Settembre dopo le 19**
- La correzione dei temi d'esame può essere visionata durante la registrazione
- **Orali** (facoltativi) e **registrazioni** si terranno **Mercoledì 8 Settembre** alle 15.00 in aula L.

### Esercizio 1 (11 punti)

Un Bridge è attestato contemporaneamente su due segmenti distinti di rete; sul segmento 1 c'è una stazione, A, mentre sul segmento 2 ci sono due stazioni, B e C (si veda la figura a fianco). Il Bridge è un particolare tipo di stazione che memorizza ciascuna trama che arriva da un segmento di rete e, una volta ricevuta completamente, la ritrasmette sull'altro segmento di rete (tale comportamento è valido, in modo indipendente l'uno dall'altro, in entrambi i sensi); le trame restano in memoria del Bridge fino a quando la trasmissione sull'altro segmento non è andata a buon fine. Le stazioni e il Bridge utilizzano un protocollo **ALOHA**. Le caratteristiche del sistema sono:



- velocità dei segmenti: 1.4 Mbit/s;
- lunghezza delle trame generate dalle stazioni: 1400 byte;
- ritardo di propagazione sui segmenti trascurabile rispetto al tempo di trama.

Le stazioni generano le seguenti trame:

- stazione A: una trama (A1) all'istante  $t_{A1}=622$  msec diretta a B;
- stazione B: una trama (B1) all'istante  $t_{B1}=621$  msec e una trama (B2) all'istante  $t_{B2}=668$  msec, entrambe dirette ad A;
- stazione C: una trama (C1) all'istante  $t_{C1}=650$  msec diretta a B;

In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la fine della trasmissione della trama corrotta; il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

- si attende un tempo pari a  $Z = S_c * N + T$ , dove
  - $S_c$  = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

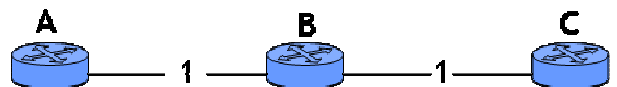
ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$

Determinare:

1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando se avviene collisione, in quali istanti essa viene eventualmente avvertita e da quali apparati;
2. il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione.
3. [domanda aperta]: Si descriva l'algoritmo CSMA p-persistent.

### Esercizio 2 (11 punti)

Si consideri la rete mostrata in figura, ove è utilizzato l'algoritmo Distributed Bellman-Ford (DBF) classico senza alcun meccanismo aggiuntivo. Si ipotizzi che la situazione sia a regime, ovvero tutte le tabelle di routing siano stabili. Al tempo  $t_{\text{change}}$  al link tra B e C viene cambiato il peso, dall'attuale valore pari a 1 al valore pari a 7.



1. Si mostrino le tabelle di routing a regime prima del cambio (ovvero prima di  $t_{\text{change}}$ )
2. Si mostrino i messaggi scambiati successivamente al cambio, fino al raggiungimento di una situazione di regime;
3. [domanda aperta]: Dare una definizione di indirizzo privato e indirizzo pubblico, spiegando come vengono utilizzate le due diverse tipologie di indirizzo.



### **Esercizio 3 (11 punti)**

Un'applicazione A deve trasferire 66400 byte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 800 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A durante l'instaurazione della connessione pari a 25600 byte e costante per tutto il tempo di trasmissione;
- Ssthresh iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 0.5 secondo, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- RTO base =  $2 \cdot \text{RTT}$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nei seguenti intervalli di tempo:

- da  $t_1=3s$  a  $t_2=4.5s$ ;
- da  $t_3=8.5s$  a  $t_4=10s$ .

Si tracci l'andamento della CWND nel tempo e si determini in particolare:

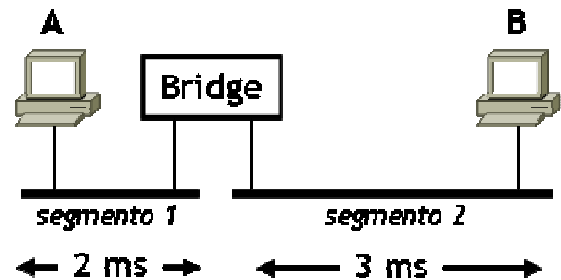
1. il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
2. i valori assunti dalla Ssthresh durante il trasferimento (graficamente);
3. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
4. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).
5. [domanda aperta]: si spieghi il concetto di porta del livello di trasporto. Si consideri inoltre il seguente esempio: un'applicazione A su un host con indirizzo IP IP1 apre una connessione con un server web il cui indirizzo IP è IP2; successivamente, la stessa applicazione apre un nuovo thread il quale si collega anch'esso allo stesso server web. Mostrare le porte assegnate ai due diversi flussi.



- Scrivere **nome, cognome** e **numero di matricola** su ciascun foglio che si intende consegnare (non è obbligatorio consegnare la brutta copia)
- I risultati verranno pubblicati sugli avvisi della pagina del corso **Giovedì 30 Settembre dopo le 12**
- La correzione dei temi d'esame può essere visionata durante la registrazione
- **Orali** (facoltativi) e **registrazioni** si terranno **Giovedì 30 Settembre** alle 17.00 in aula I.

### Esercizio 1 (10 punti)

Un Bridge è attestato contemporaneamente su due segmenti di rete distinti di rete; agli estremi dei due segmenti di rete vi sono due stazioni A e B (si veda la figura a fianco). Il Bridge è un particolare tipo di stazione che memorizza ciascuna trama che arriva da un segmento di rete e, una volta ricevuta completamente, la ritrasmette sull'altro segmento di rete (tale comportamento è valido, in modo indipendente l'uno dall'altro, in entrambi i sensi); le trame restano in memoria del Bridge fino a quando la trasmissione sull'altro segmento non è andata a buon fine.



Le stazioni e il Bridge utilizzano un protocollo CSMA

persistent (1-persistent). Le caratteristiche del sistema sono:

- velocità dei segmenti: 1.0 Mbit/s;
- lunghezza delle trame generate dalle stazioni: 1500 byte;
- ritardo di propagazione tra la stazione A e il Bridge: 2 ms;
- ritardo di propagazione tra la stazione B e il Bridge: 3 ms.

Le stazioni generano le seguenti trame:

- stazione A: una trama (A1) all'istante  $t_{A1}=123$  msec, una trama (A2) all'istante  $t_{A2}=127$  msec e una trama (A3) all'istante  $t_{A3}=150$  msec, tutte dirette a B;
- stazione B: una trama (B1) all'istante  $t_{B1}=124$  msec e una trama (B2) all'istante  $t_{B2}=145$  msec, entrambe dirette ad A;

In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la fine della trasmissione della trama corrotta; il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

- si attende un tempo pari a  $Z = S_c * N + T$ , dove
  - $S_c$  = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$

Determinare:

1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando se avviene collisione, in quali istanti essa viene eventualmente avvertita e da quali apparati;
2. il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione.
3. [domanda aperta, 3pt dei 10 disponibili]: Si descriva la modalità di framing di livello Data Link chiamata "bit stuffing", aiutandosi anche con un esempio numerico.

### Esercizio 2 (13 punti)

La rete rappresentata nella figura a lato è composta da tre router (A, B, e C) e da tre LAN (LAN1, LAN2 e LAN3). Si considerino i vincoli seguenti:

- La LAN1 contiene un host con indirizzo 115.63.101.45;
- Ciascuna delle 3 LAN deve poter contenere almeno 280 host;

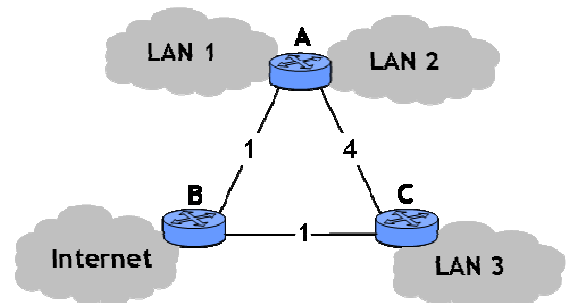
In base ai suddetti vincoli:

1. Si scriva il più piccolo blocco CIDR che soddisfa i suddetti vincoli;

Si assuma che tra i router A, B e C venga utilizzato l'algoritmo

Distributed Bellman-Ford (DBF) classico senza alcun meccanismo aggiuntivo. Si ipotizzi che la situazione sia a regime, ovvero tutte le tabelle di routing siano stabili. Al tempo  $t_{\text{change}}$  al link tra A e B si guasta.

2. Si mostrino le tabelle di routing a regime prima del guasto (ovvero prima di  $t_{\text{change}}$ )





3. Si mostrino i messaggi scambiati successivamente al guasto, fino al raggiungimento di una situazione di regime;
4. [domanda aperta, 4pt dei 13 disponibili]: Non tutti gli indirizzi IP possono essere assegnati agli host: ve ne sono alcuni, definiti "indirizzi speciali" che hanno un particolare utilizzo. Tra questi, vi sono: l'indirizzo composto da tutti "1", l'indirizzo composto da tutti "0", l'indirizzo in cui l'host ID e' composto da tutti "1", l'indirizzo in cui l'host ID e' composto da tutti "0". Per ciascuno dei 4 indirizzi si spieghi il loro utilizzo.

### **Esercizio 3 (10 punti)**

Un'applicazione A deve trasferire 96000 byte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 1500 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A durante l'instaurazione della connessione pari a 12000 byte; a partire dal tempo  $t > 4$  sec la destinazione annuncia una RCVWND pari a 24000 byte; a partire dal tempo  $t > 8$  sec la destinazione annuncia una RCVWND pari a 9000 byte;
- Ssthresh iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 1 secondo, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- RTO base =  $2 * RTT$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nel seguente intervallo di tempo:

- da  $t_1=8.5s$  a  $t_2=9.5s$ .

Si tracci l'andamento della CWND nel tempo e si determini in particolare:

1. il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
2. i valori assunti dalla Ssthresh durante il trasferimento (graficamente);
3. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
4. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).
5. [domanda aperta, 3pt dei 10 disponibili]: Si descriva la procedura adottata dal TCP per chiudere una connessione, specificando i campi dell'header coinvolti.





- Scrivere **nome, cognome** e **numero di matricola** su ciascun foglio che si intende consegnare (non è obbligatorio consegnare la brutta copia)
- I risultati verranno pubblicati sugli avvisi della pagina del corso **Giovedì 25 Febbraio dopo le 15**
- La correzione dei temi d'esame può essere visionata durante la registrazione
- **Orali** (facoltativi) e **registrazioni** si terranno **Giovedì 25 Febbraio** alle 16:00 in aula L

### Esercizio 1 (11 punti)

Tre stazioni (A, B e C) sono attestate al medesimo mezzo condiviso (si faccia riferimento alla figura).

Le stazioni utilizzano per la trasmissione delle trame una versione *semplificata* del protocollo CSMA **p-persistent**; il parametro **p** per tutte le stazioni vale 0.5. Per decidere il comportamento, nell'istante in cui il canale viene percepito libero,  $t_{free}$ , si procede nel seguente modo:

IF ( $t_{free}$  è un numero pari)

THEN la stazione trasmette

ELSE la stazione rimanda la trasmissione di un tempo pari a  $SUM(t_{free})$  msec

dove  $SUM(t_{free})$  è la somma delle cifre che compongono l'istante  $t_{free}$  (ad es., se  $t_{free}=805ms$ , allora  $SUM(t_{free})$  sarà uguale a  $8+0+5=13$ ).

Le caratteristiche del sistema sono le seguenti:

- velocità del segmento: 800 kbit/s;
- lunghezza delle trame generate sia da A che da B: 1400 byte;
- ritardo di propagazione tra la stazione A e B: 2 msec;
- ritardo di propagazione tra la stazione B e C: 3 msec.

Le stazioni generano le seguenti trame:

- stazione A: una trama (A1) all'istante  $tA1=657$  msec e una trama (A2) all'istante  $tA2=659$  msec;
- stazione B: una trama (B1) all'istante  $tB1=648$  msec;
- stazione C: una trama (C1) all'istante  $tC1=654$  msec.

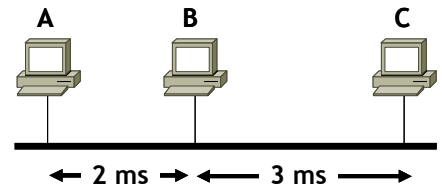
In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere **Z** millisecondi **dopo** la fine della trasmissione della trama corrotta (in questo caso, dopo l'istante in cui si è avvertita la collisione e si è smesso di trasmettere); il numero **Z** viene deciso secondo il seguente metodo:

- si attende un tempo pari a  $Z = Sc * N + T$ , dove
  - $Sc$  = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$

Determinare:

1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando se avviene collisione, in quali istanti essa viene eventualmente avvertita e da quali apparati (stazione A, B o C);
2. il periodo di vulnerabilità del sistema.
3. [domanda aperta]: Si spieghi che cosa si intende, quando si parla delle funzionalità del livello 2, per *framing* e si descriva una delle possibili tecniche con un semplice esempio.

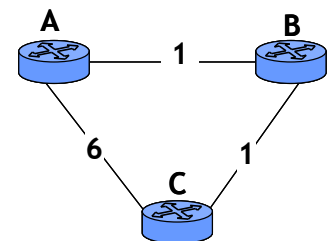


### Esercizio 2 (11 punti)

Si consideri la rete mostrata in figura, ove è utilizzato l'algoritmo Distributed Bellman-Ford (DBF) classico senza alcun meccanismo aggiuntivo. Si ipotizzi che la situazione sia a regime, ovvero tutte le tabelle di routing siano stabili.

Al tempo  $t_{guasto}$  il link tra B e C si guasta.

1. Si mostrino le tabelle di routing a regime prima del guasto (ovvero prima di  $t_{guasto}$ )
2. Si mostrino i messaggi scambiati successivamente al guasto, fino al raggiungimento di una situazione di regime;
3. [domanda aperta]: Si descriva brevemente un possibile schema di un router, evidenziando le funzionalità delle diverse componenti.





### **Esercizio 3 (11 punti)**

Un'applicazione A deve trasferire 66400 byte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 800 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A pari a 12800 byte;
- Ssthresh iniziale = **RCVWND / 2**;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 1 secondo, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- RTO base =  $2 \cdot \text{RTT}$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nel seguente intervallo di tempo:

- da  $t_1=7.5s$  a  $t_2=8.5s$ ;
- da  $t_3=13.5s$  a  $t_4=17.5s$ .

Infine si assuma che il TCP dell'host su cui risiede A implementi una versione semplificata di **Fast Recovery**: in caso di perdita dei segmenti, allo scadere del timeout, il TCP calcola la nuova Ssthresh nel modo usuale e poi pone  $\text{CWND} = \text{Ssthresh}$  (invece di  $\text{CWND} = 1$ ).

Si tracci l'andamento della CWND nel tempo e si determini in particolare:

1. il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
2. i valori assunti dalla Ssthresh durante il trasferimento (graficamente);
3. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
4. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).
5. [domanda aperta]: Si descriva la fase di instaurazione di una connessione, indicando i messaggi scambiati e i campi dell'header coinvolti.



- Scrivere **nome, cognome** e **numero di matricola** su ciascun foglio che si intende consegnare (non è obbligatorio consegnare la brutta copia)
- I risultati verranno pubblicati sugli avvisi della pagina del corso **Mercoledì 18 Gennaio dopo le 17**
- La correzione dei temi d'esame può essere visionata durante la registrazione
- **Orali** (facoltativi) e **registrazioni** si terranno **Giovedì 19 Gennaio** alle 10.30 in aula A.

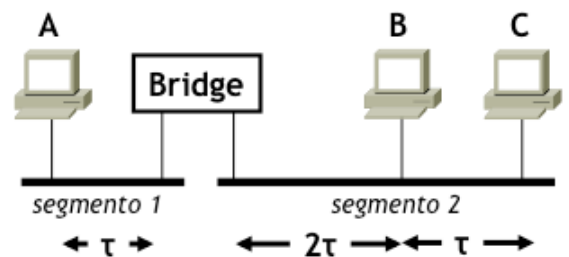
## Domande sulla teoria (4 punti ciascuna)

Lo studente risponda in maniera concisa, ma precisa, alle seguenti domande riguardanti la parte teorica. E' necessario che lo studente ottenga almeno 7 punti (su un totale di 12 punti a disposizione). In caso contrario, gli esercizi non verranno considerati e il voto finale sarà insufficiente.

1. Si descriva, anche attraverso l'uso di pseudo codice commentato, l'algoritmo CSMA nella variante Collision Detection (CSMA-CD), indicando il motivo che ha portato all'introduzione di tale variante.
2. L'header IP contiene un campo di 16 bit denominato "Identification": si spieghi che cosa contiene tale campo e come viene utilizzato.
3. Si descriva la fase di chiusura della connessione nel TCP, indicando i messaggi scambiati e i principali campi dell'header utilizzati durante tale fase.

## Esercizio 1 (7 punti)

Un Bridge è attestato contemporaneamente su due segmenti distinti di rete; sul segmento 1 c'è una stazione, A, e sul segmento 2 ci sono due stazioni, B e C, (si veda la figura a fianco). Il Bridge è un particolare tipo di stazione che memorizza ciascuna trama che arriva da un segmento di rete e, una volta ricevuta completamente, la ritrasmette sull'altro segmento di rete (tale comportamento è valido, in modo indipendente l'uno dall'altro, in entrambi i sensi); le trame restano in memoria del Bridge fino a quando la trasmissione sull'altro segmento non è andata a buon fine.



Le stazioni e il Bridge utilizzano un protocollo **CSMA** 1-persistent. Le caratteristiche del sistema sono:

- velocità dei segmenti: 1.6 Mbit/s;
- lunghezza delle trame generate dalle stazioni: 200 byte;
- ritardo di propagazione pari ad 1 ms tra la stazione A e il bridge, pari a 2ms tra il bridge e la stazione B, e pari a 1 ms tra la stazione B e la stazione C;

Le stazioni generano le seguenti trame:

- stazione A: una trama (A1) all'istante  $t_{A1}=704$  msec e una trama (A2) all'istante  $t_{A2}=720$  msec, entrambe dirette a B;
- stazione B: una trama (B1) all'istante  $t_{B1}=723$  msec diretta a C;
- stazione C: una trama (C1) all'istante  $t_{C1}=703$  msec e una trama (C2) all'istante  $t_{C2}=735$  msec, entrambe dirette ad A;

In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la fine della trasmissione della trama corrotta; il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

- si attende un tempo pari a  $Z = S_c * N + T$ , dove
  - $S_c$  = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$

Determinare:

1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando se avviene collisione, in quali istanti essa viene eventualmente avvertita e da quali apparati;
2. il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione.



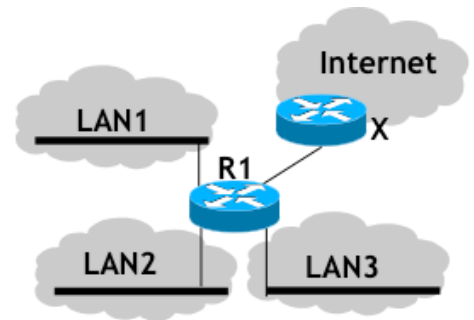
## Esercizio 2 (7 punti)

Si consideri la rete rappresentata in Figura, collegata ad Internet attraverso il router X (router di default per la rete). Si hanno i seguenti vincoli:

- Le LAN 1, 2 e 3 devono poter contenere rispettivamente fino a 500, 1200 e 200 host;
- la LAN 2 ha come indirizzo di broadcast 89.136.63.255.

Tralasciando gli indirizzi del collegamento punto-punto tra i router R1 e X:

1. Si specifichi il blocco CIDR più piccolo da assegnare alla rete nel rispetto dei vincoli citati;
2. Si assegnino gli indirizzi di rete e di broadcast alle LAN 1, 2 e 3, utilizzando il blocco CIDR individuato nel punto precedente.



## Esercizio 3 (7 punti)

Un'applicazione A deve trasferire 85800 byte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 1100 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A pari a 17600 byte; a partire dal tempo  $t_a > 2.5$  la destinazione annuncia una RCVWND pari a 5500 byte; a partire dal tempo  $t_b > 3.5$  la destinazione annuncia una RCVWND pari a 22000 byte;
- Ssthresh iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 0.5 secondi, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- RTO base =  $2 * RTT$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nel seguente intervallo di tempo:

- da  $t_1 = 4.5s$  a  $t_2 = 5.5s$ ;

Si tracci l'andamento della CWND nel tempo e si determini in particolare:

1. il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
2. i valori assunti dalla Ssthresh durante il trasferimento (graficamente);
3. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
4. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).



- Scrivere **nome, cognome** e **numero di matricola** su ciascun foglio che si intende consegnare (non è obbligatorio consegnare la brutta copia)
- I risultati verranno pubblicati sugli avvisi della pagina del corso **Martedì 3 Luglio dopo le 18**
- La correzione dei temi d'esame può essere visionata durante la registrazione
- **Orali** (facoltativi) e **registrazioni** si terranno **Mercoledì 4 Luglio** alle 9.30 in aula L.

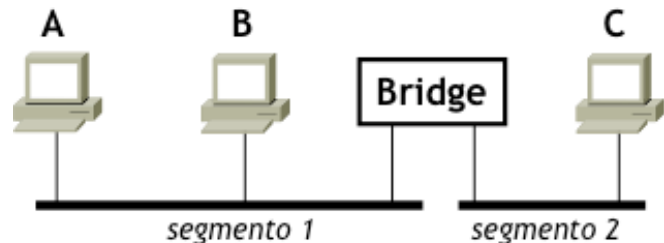
### Domande sulla teoria (4 punti ciascuna)

Lo studente risponda in maniera concisa, ma precisa, alle seguenti domande riguardanti la parte teorica. È necessario che lo studente ottenga almeno 7 punti (su un totale di 12 punti a disposizione). In caso contrario, gli esercizi non verranno considerati e il voto finale sarà insufficiente.

1. In riferimento al livello data link nelle reti wireless, si spieghi il problema del terminale nascosto e quello del terminale esposto; si discuta una possibile soluzione a tali problemi.
2. In riferimento al livello di rete, si spieghi, anche attraverso un esempio, che cos'è il Network Address Translation (NAT), specificando per quale motivo tale funzionalità è stata introdotta.
3. In riferimento al livello di trasporto, si spieghi come viene stimato il Round Trip Time (RTT).

### Esercizio 1 (7 punti)

Si consideri la configurazione in figura, dove due segmenti di rete sono collegati da un Bridge; sul segmento 1 vi sono 2 stazioni (A e B), mentre sul segmento 2 vi è una stazione (C). Il Bridge è un particolare tipo di stazione che memorizza ciascuna trama che arriva da un segmento di rete e, una volta ricevuta completamente, la ritrasmette sull'altro segmento di rete (tale comportamento è valido, in modo indipendente l'uno dall'altro, in entrambi i sensi); le trame restano in memoria del Bridge fino a quando la trasmissione sull'altro segmento non è andata a buon fine.



Le stazioni e il Bridge utilizzano un protocollo **ALOHA**. Le caratteristiche del sistema sono:

- velocità dei segmenti: 1.5 Mbit/s;
- lunghezza delle trame generate dalle stazioni: 1500 byte;
- ritardo di propagazione tra le stazioni e il bridge nullo;

Le stazioni generano le seguenti trame:

- stazione A: una trama (A1) all'istante  $t_{A1}=213$  diretta a B;
- stazione B: una trama (B1) all'istante  $t_{B1}=218$  diretta a C;
- stazione C: due trame (C1 e C2) agli istanti  $t_{C1}=216$  e  $t_{C2}=233$  msec, entrambe dirette a B;

In caso di collisione, si supponga che le stazioni decidono di ritrasmettere Z millisecondi dopo la fine della trasmissione della trama corrotta; il numero Z viene deciso secondo il seguente metodo:

- si attende un tempo pari a  $Z = S_c * N + T$ , dove
  - $S_c$  = somma delle cifre che compongono l'istante di inizio trasmissione
  - $N$  = numero di collisioni subite da quella trama
  - $T$  tempo di trama

ad esempio, se l'istante di inizio trasmissione è 418 msec,  $Z = (4+1+8)*N + T$

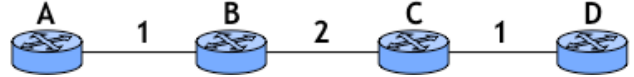
Determinare:

1. graficamente le trasmissioni delle diverse trame, indicando se avviene collisione, in quali istanti essa viene eventualmente avvertita e da quali apparati;
2. il periodo di vulnerabilità del sistema preso in considerazione.



### Esercizio 2 (7 punti)

Si consideri la rete mostrata in figura, dove è utilizzato l'algoritmo Distributed Bellman-Ford (DBF) classico senza alcun meccanismo aggiuntivo. Si ipotizzi che la situazione sia a regime, ovvero tutte le tabelle di routing siano stabili. Al tempo  $t_{\text{guasto}}$  il link tra B e C si guasta.



1. Si mostrino le tabelle di routing a regime prima del guasto (ovvero prima di  $t_{\text{guasto}}$ );
2. Si mostrino i messaggi scambiati successivamente al guasto, fino al raggiungimento di un'eventuale nuova situazione di regime

### Esercizio 3 (7 punti)

Un'applicazione A deve trasferire 145600 byte all'applicazione B utilizzando il protocollo TCP. Si supponga che la connessione tra A e B sia già stata instaurata. La trasmissione dei segmenti inizia al tempo  $t=0$ . Sono noti i seguenti parametri:

- MSS concordata pari a 1400 byte;
- RCVWND annunciata da B ad A pari a 19600 byte; a partire dal tempo  $t_a > 13$  la destinazione annuncia una RCVWND pari a 5600 byte; a partire dal tempo  $t_b > 15$  la destinazione annuncia una RCVWND pari a 14000 byte;
- Ssthresh iniziale = RCVWND;
- CWND = 1 segmento a  $t=0$ ;
- RTT pari a 1.0 secondo, costante per tutto il tempo di trasferimento;
- RTO base =  $2 \cdot \text{RTT}$ ; nel caso di perdite consecutive dello stesso segmento, i timeout seguenti raddoppiano fino ad un massimo di 4 volte il RTO base, dopodiché la connessione viene abbattuta;
- il tempo di trasmissione dei segmenti è trascurabile rispetto RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti.

Inoltre si supponga che la rete vada fuori servizio nei seguenti intervalli di tempo:

- da  $t_1 = 7.5s$  a  $t_2 = 8.5s$ ;
- da  $t_3 = 18.0s$  a  $t_4 = 20.0s$ ;

Si tracci l'andamento della CWND nel tempo e si determini in particolare:

1. il valore finale di CWND (sia graficamente, sia esplicitandolo);
2. i valori assunti dalla Ssthresh durante il trasferimento (graficamente);
3. il tempo necessario per il trasferimento dei dati (sia graficamente, sia esplicitandolo);
4. il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti i riscontri o meno (sia graficamente, sia esplicitando i valori).