

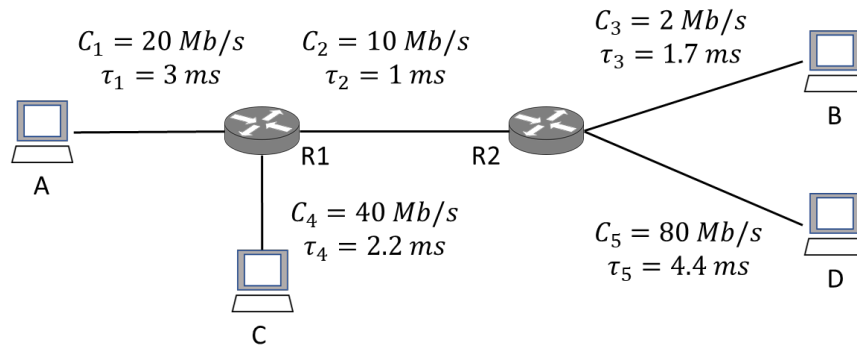
Fondamenti di Comunicazioni e Internet

Esame del 21-07-2020

Proff. Capone, Cesana, Maier, Musumeci

Esercizio 1

(7 punti)



ES1 (A)

Nella rete a commutazione di pacchetto rappresentata in figura sono presenti 4 host (A, B, C, D) e 2 router (R1, R2). Al tempo $t=0$, sono presenti nelle code di uscita degli host A e C i 6 pacchetti (rispettivamente, 4 nella coda di A e 2 nella coda di C) diretti alle seguenti destinazioni:

- CODA A: $\rightarrow B D C B$ (si indichino questi pacchetti con B1, D1, C1 e B2, rispettivamente)
- CODA C: $\rightarrow B A$ (si indichino questi pacchetti con B3 e A1, rispettivamente)

Si ipotizzi inoltre che:

- la dimensione di ciascun pacchetto sia $L = 25$ [kB];
- i link siano bidirezionali e simmetrici;
- i router abbiano ritardo di elaborazione trascurabile.

Si calcoli, per ciascuno dei 6 pacchetti (B1, D1, C1, B2, B3 e A1) l'istante di fine ricezione all'host destinatario.

Soluzione:

$$T_1 = 10 \text{ ms}$$

$$T_2 = 20 \text{ ms}$$

$$T_3 = 100 \text{ ms}$$

$$T_4 = 5 \text{ ms}$$

$$T_5 = 2.5 \text{ ms}$$

$$T_{B1}(A \rightarrow B) = T_4 + \tau_4 + T_2 + \tau_2 + 2T_3 + \tau_3 = T_{B3} + T_3 = 229.9 \text{ ms}$$

$$T_{D1}(A \rightarrow D) = T_4 + \tau_4 + 3T_2 + \tau_2 + T_5 + \tau_5 = 75.1 \text{ ms}$$

$$T_{C1}(A \rightarrow C) = 3T_1 + \tau_1 + T_4 + \tau_4 = 40.2 \text{ ms}$$

$$T_{B2}(A \rightarrow B) = T_4 + \tau_4 + T_2 + \tau_2 + 3T_3 + \tau_3 = T_{B3} + 2T_3 = T_{B1} + T_3 = 329.9 \text{ ms}$$

$$T_{B3}(C \rightarrow B) = T_4 + \tau_4 + T_2 + \tau_2 + T_3 + \tau_3 = 129.9 \text{ ms}$$

$$T_{A1}(C \rightarrow A) = 2T_4 + \tau_4 + T_1 + \tau_1 = 25.2 \text{ ms}$$

ES1 (B)

Nella rete a commutazione di pacchetto rappresentata in figura sono presenti 4 host (A, B, C, D) e 2 router (R1, R2). Al tempo $t=0$, sono presenti nelle code di uscita degli host A e C i 6 pacchetti (rispettivamente, 4 nella coda di A e 2 nella coda di C) diretti alle seguenti destinazioni:

- CODA A: $\rightarrow D B C D$ (si indichino questi pacchetti con D1, B1, C1 e D2, rispettivamente)
- CODA C: $\rightarrow D A$ (si indichino questi pacchetti con D3 e A1, rispettivamente)

Si ipotizzi inoltre che:

- la dimensione di ciascun pacchetto sia $L = 50$ [kB];
- i link siano bidirezionali e simmetrici;
- i router abbiano ritardo di elaborazione trascurabile.

Si calcoli, per ciascuno dei 6 pacchetti (D1, B1, C1, D2, D3 e A1) l'istante di fine ricezione all'host destinatario.

Soluzione:

$$T_1 = 20 \text{ ms}$$

$$T_2 = 40 \text{ ms}$$

$$T_3 = 200 \text{ ms}$$

$$T_4 = 10 \text{ ms}$$

$$T_5 = 5 \text{ ms}$$

$$T_{D1}(A \rightarrow D) = T_4 + \tau_4 + 2T_2 + \tau_2 + T_5 + \tau_5 = T_{D3} + T_2 = 102.6 \text{ ms}$$

$$T_{B1}(A \rightarrow B) = T_4 + \tau_4 + 3T_2 + \tau_2 + T_3 + \tau_3 = 334.9 \text{ ms}$$

$$T_{C1}(A \rightarrow C) = 3T_1 + \tau_1 + T_4 + \tau_4 = 75.2 \text{ ms}$$

$$T_{D2}(A \rightarrow D) = T_4 + \tau_4 + 4T_2 + \tau_2 + T_5 + \tau_5 = T_{D3} + 3T_2 = T_{D1} + 2T_2 = 182.6 \text{ ms}$$

$$T_{D3}(C \rightarrow D) = T_4 + \tau_4 + T_2 + \tau_2 + T_5 + \tau_5 = 62.6 \text{ ms}$$

$$T_{A1}(C \rightarrow A) = 2T_4 + \tau_4 + T_1 + \tau_1 = 45.2 \text{ ms}$$

ES1 (C)

Nella rete a commutazione di pacchetto rappresentata in figura sono presenti 4 host (A, B, C, D) e 2 router (R1, R2). Al tempo $t=0$, sono presenti nelle code di uscita degli host A e C i 6 pacchetti (rispettivamente, 4 nella coda di A e 2 nella coda di C) diretti alle seguenti destinazioni:

- CODA A: $\rightarrow D C B D$ (si indichino questi pacchetti con D1, C1, B1 e D2, rispettivamente)
- CODA C: $\rightarrow B A$ (si indichino questi pacchetti con B2 e A1, rispettivamente)

Si ipotizzi inoltre che:

- la dimensione di ciascun pacchetto sia $L = 20$ [kB];
- i link siano bidirezionali e simmetrici;
- i router abbiano ritardo di elaborazione trascurabile.

Si calcoli, per ciascuno dei 6 pacchetti (D1, C1, B1, D2, B2 e A1) l'istante di fine ricezione all'host destinatario.

Soluzione:

$$T_1 = 8 \text{ ms}$$

$$T_2 = 16 \text{ ms}$$

$$T_3 = 80 \text{ ms}$$

$$T_4 = 4 \text{ ms}$$

$$T_5 = 2 \text{ ms}$$

$$T_{D1}(A \rightarrow D) = T_4 + \tau_4 + 2T_2 + \tau_2 + T_5 + \tau_5 = 45.6 \text{ ms}$$

$$T_{C1}(A \rightarrow C) = 2T_1 + \tau_1 + T_4 + \tau_4 = 25.2 \text{ ms}$$

$$T_{B1}(A \rightarrow B) = T_4 + \tau_4 + T_2 + \tau_2 + 2T_3 + \tau_3 = T_{B2} + T_3 = 184.9 \text{ ms}$$

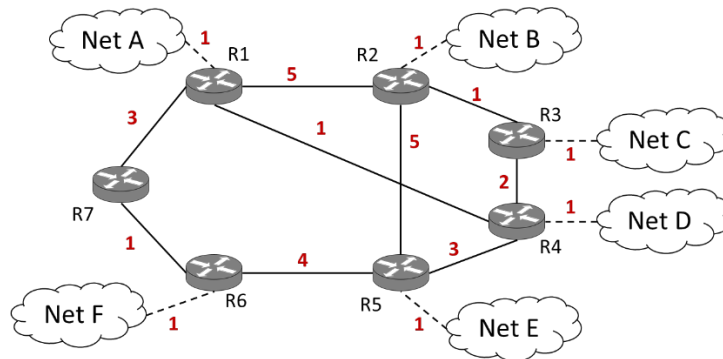
$$T_{D2}(A \rightarrow D) = T_4 + \tau_4 + 4T_2 + \tau_2 + T_5 + \tau_5 = T_{D1} + 2T_2 = 77.6 \text{ ms}$$

$$T_{B2}(C \rightarrow B) = T_4 + \tau_4 + T_2 + \tau_2 + T_3 + \tau_3 = 104.9 \text{ ms}$$

$$T_{A1}(C \rightarrow A) = 2T_4 + \tau_4 + T_1 + \tau_1 = 21.2 \text{ ms}$$

Esercizio 2

(6 punti)



ES2 (A)

Nella rete in figura sono presenti 7 router (R1, ..., R7) e 6 reti IP (Net A, ..., Net F). I costi di attraversamento sono indicati accanto ad ogni link, i link sono bidirezionali e simmetrici (si faccia attenzione ai collegamenti tratteggiati, di costo unitario, tramite cui alcuni router si interconnettono alle reti Net A, ... Net F).

- Considerando il grafo della rete costituito dai soli router (si omettano nel grafo le reti Net A, ..., Net F) e applicando l'algoritmo di Bellman-Ford **al nodo R1**, si scriva la tabella di routing del **nodo R1** per ciascun passo dell'algoritmo finché non si raggiunge la convergenza (suggerimento: si considerino come destinazione i singoli router diversi dal nodo R1).
- Si disegni il MST finale ottenuto al punto a).
- Si riporti la tabella di routing del **nodo R1** in cui le destinazioni sono le reti Net A, ..., Net F.
- Sulla base del MST calcolato, indicare il contenuto dei Distance vector (DV) inviati dal **router R1** nei casi
 - DV in modalità Split Horizon senza Poisonous Reverse
 - DV in modalità Split Horizon con Poisonous ReversePer ciascun DV inviato, indicare chiaramente il destinatario del DV e le reti raggiungibili comunicate con i rispettivi costi.

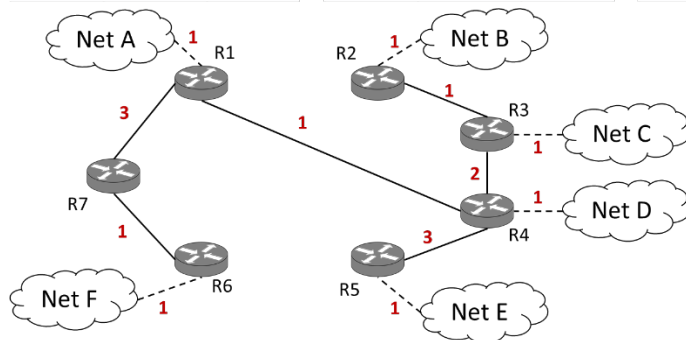
Soluzione:

a-b)

Dest.	Costo	NH
R2	5	R2
R3	Inf	-
R4	1	R4
R5	Inf	-
R6	Inf	-
R7	3	R7

Dest.	Costo	NH
R2	5	R2
R3	3	R4
R4	1	R4
R5	4	R4
R6	4	R7
R7	3	R7

Dest.	Costo	NH
R2	4	R4
R3	3	R4
R4	1	R4
R5	4	R4
R6	4	R7
R7	3	R7



c)

Dest.	Costo	NH
Net A	1	Dir.
Net B	5	R4
Net C	4	R4
Net D	2	R4
Net E	5	R4
Net F	5	R7

d)

SH senza PR

Dest.	Costo
Net A	1
Net B	5
Net C	4
Net D	2
Net E	5
Net F	5

R1→R2

R1→R4

R1→R7

SH con PR

Dest.	Costo	Dest.	Costo	Dest.	Costo
Net A	1	Net A	1	Net A	1
Net B	5	Net B	Inf	Net B	5
Net C	4	Net C	Inf	Net C	4
Net D	2	Net D	Inf	Net D	2
Net E	5	Net E	Inf	Net E	5
Net F	5	Net F	5	Net F	inf

R1→R2

R1→R4

R1→R7

ES2 (B)

Nella rete in figura sono presenti 7 router (R1, ..., R7) e 6 reti IP (Net A, ..., Net F). I costi di attraversamento sono indicati accanto ad ogni link, i link sono bidirezionali e simmetrici (si faccia attenzione ai collegamenti tratteggiati, di costo unitario, tramite cui alcuni router si interconnettono alle reti Net A, ... Net F).

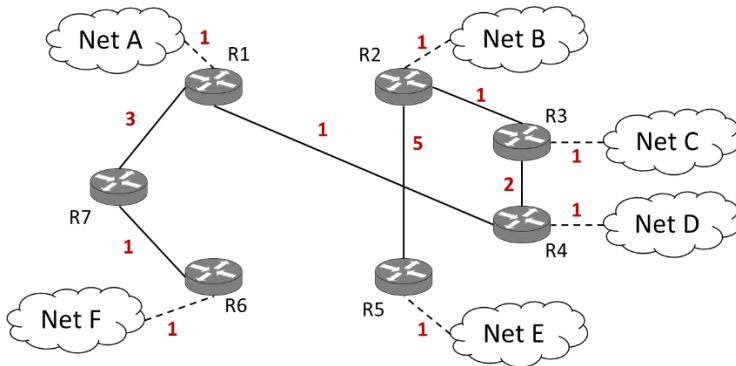
- a) Considerando il grafo della rete costituito dai soli router (si omettano nel grafo le reti Net A, ..., Net F) e applicando l'algoritmo di Bellman-Ford **al nodo R2**, si scriva la tabella di routing del **nodo R2** per ciascun passo dell'algoritmo finché non si raggiunge la convergenza (suggerimento: si considerino come destinazione i singoli router diversi dal nodo R2).

- b) Si disegni il MST finale ottenuto al punto a).
- c) Si riporti la tabella di routing del **nodo R2** in cui le destinazioni sono le reti Net A, ..., Net F.
- d) Sulla base del MST calcolato, indicare il contenuto dei Distance vector (DV) inviati dal **router R2** nei casi
1. DV base
 2. DV in modalità Split Horizon con Poisonous Reverse
- Per ciascun DV inviato, indicare chiaramente il destinatario del DV e le reti raggiungibili comunicate con i rispettivi costi.

Soluzione:

a-b)

Dest.	Costo	NH	Dest.	Costo	NH	Dest.	Costo	NH	Dest.	Costo	NH	Dest.	Costo	NH
R1	5	R1	R1	5	R1	R1	4	R3	R1	4	R3	R1	4	R3
R3	1	R3	R3	1	R3	R3	1	R3	R3	1	R3	R3	1	R3
R4	Inf	-	R4	3	R3	R4	3	R3	R4	3	R3	R4	3	R3
R5	5	R5	R5	5	R5	R5	5	R5	R5	5	R5	R5	5	R5
R6	Inf	-	R6	9	R5	R6	9	R5	R6	9	R5	R6	8	R3
R7	Inf	-	R7	8	R1	R7	8	R1	R7	7	R3	R7	7	R3



c)

Dest.	Costo	NH
Net A	5	R3
Net B	1	Dir.
Net C	2	R3
Net D	4	R3
Net E	6	R5
Net F	9	R3

d)

DV base

Dest.	Costo
Net A	5
Net B	1
Net C	2
Net D	4
Net E	6
Net F	9

R2→R1, R3, R5

SH con PR

Dest.	Costo	Dest.	Costo	Dest.	Costo
Net A	5	Net A	Inf	Net A	5
Net B	1	Net B	1	Net B	1
Net C	2	Net C	Inf	Net C	2
Net D	4	Net D	Inf	Net D	4
Net E	6	Net E	6	Net E	inf
Net F	9	Net F	inf	Net F	9

R2→R1

R2→R3

R2→R5

ES2 (C)

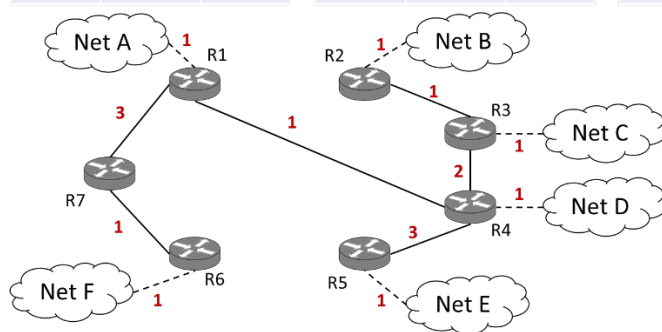
Nella rete in figura sono presenti 7 router (R1, ..., R7) e 6 reti IP (Net A, ..., Net F). I costi di attraversamento sono indicati accanto ad ogni link, i link sono bidirezionali e simmetrici (si faccia attenzione ai collegamenti tratteggiati, di costo unitario, tramite cui alcuni router si interconnettono alle reti Net A, ... Net F).

- Considerando il grafo della rete costituito dai soli router (si omettano nel grafo le reti Net A, ..., Net F) e applicando l'algoritmo di Bellman-Ford **al nodo R4**, si scriva la tabella di routing del **nodo R4** per ciascun passo dell'algoritmo finché non si raggiunge la convergenza (suggerimento: si considerino come destinazione i singoli router diversi dal nodo R4).
- Si disegni il MST finale ottenuto al punto a).
- Si riporti la tabella di routing del **nodo R4** in cui le destinazioni sono le reti Net A, ..., Net F.
- Sulla base del MST calcolato, indicare il contenuto dei Distance vector (DV) inviati dal **router R4** nei casi
 - DV in modalità Split Horizon senza Poisonous Reverse
 - DV in modalità Split Horizon con Poisonous Reverse
 Per ciascun DV inviato, indicare chiaramente il destinatario del DV e le reti raggiungibili comunicate con i rispettivi costi.

Soluzione:

a-b)

Dest.	Costo	NH	Dest.	Costo	NH	Dest.	Costo	NH	Dest.	Costo	NH
R1	1	R1	R1	1	R1	R1	1	R1	R1	1	R1
R2	Inf	-	R2	3	R3	R2	3	R3	R2	3	R3
R3	2	R3	R3	2	R3	R3	2	R3	R3	2	R3
R5	3	R5	R5	3	R5	R5	3	R5	R5	3	R5
R6	Inf	-	R6	7	R5	R6	5	R1	R6	5	R1
R7	inf	-	R7	4	R1	R7	4	R1	R7	4	R1



c)

Dest.	Costo	NH
Net A	2	R1
Net B	4	R3
Net C	3	R3
Net D	1	Dir.
Net E	4	R5
Net F	6	R1

d)

SH senza PR

Dest.	Costo	Dest.	Costo	Dest.	Costo
Net B	4	Net A	2	Net A	2
Net C	3	Net D	1	Net B	4
Net D	1	Net E	4	Net C	3
Net E	4	Net F	6	Net D	1
				Net F	6

R4→R1

R4→R3

R4→R5

SH con PR

Dest.	Costo	Dest.	Costo	Dest.	Costo
Net A	Inf	Net A	2	Net A	2
Net B	4	Net B	Inf	Net B	4
Net C	3	Net C	Inf	Net C	3
Net D	1	Net D	1	Net D	1
Net E	4	Net E	4	Net E	Inf
Net F	Inf	Net F	6	Net F	6

R4→R1

R4→R3

R4→R5

Esercizio 3

(5 punti)

Un router ha 3 interfacce di rete con i seguenti indirizzi MAC, IP e Netmask:

Interfaccia	MAC	IP	Netmask	MTU
eth0	AA:11:11:AA:AA:AA	132.14.73.1	255.255.240.0	600 B
eth1	BB:22:22:BB:BB:BB	132.14.196.0	255.255.248.0	1000 B
eth2	CC:33:33:CC:CC:CC	132.14.255.145	255.255.255.128	800 B

E la seguente tabella di routing:

Riga	Network	Netmask	Next hop
1	132.14.60.32	255.255.255.224	132.14.255.250
2	132.14.9.0	255.255.255.128	132.14.79.12
3	132.14.20.0	255.255.252.0	132.14.197.0
4	132.14.80.0	255.255.240.0	132.14.255.222
5	132.14.0.0	255.255.192.0	132.14.76.0
6	0.0.0.0	0.0.0.0	132.14.195.3

Indicare l'azione del router sui seguenti pacchetti ricevuti:

ES3 (A)

Pacch.	interfaccia	MAC Destinazione	IP Destinazione	Size	Flag D	TTL
1	eth2	CC:33:33:CC:CC:CC	132.14.192.255	800 B	1	8
2	eth1	BB:22:22:BB:BB:BB	132.14.60.40	700 B	1	93
3	eth0	AA:22:22:DD:AA:DD	132.14.73.1	500 B	0	4
4	eth1	BB:22:22:BB:BB:BB	0.0.4.0	1200 B	0	1
5	eth0	AA:11:11:AA:AA:AA	132.14.20.0	500 B	1	55

inoltrato diretto su eth1

inoltrato riga 1 scartato a livello 2 passato livelli superiori

inoltrato riga 3

ES3 (B)

Pacch.	interfaccia	MAC Destinazione	IP Destinazione	Size	Flag D	TTL
1	eth0	AA:11:11:AA:AA:AA	132.14.128.3	1200 B	0	20
2	eth2	FF:FF:FF:FF:FF:FF	132.14.255.145	600 B	1	1
3	eth0	AA:11:11:AA:AA:AA	0.0.9.1	800 B	0	1
4	eth2	CC:33:33:CC:CC:CC	132.14.9.127	800 B	1	100
5	eth1	BB:22:22:BB:BB:BB	132.14.255.133	700 B	0	2

inoltrato riga 6
passato livelli superiori
passato livelli superiori
scartato a livello 3 (riga 2)
inoltrato diretto su eth2

ES3 (C)

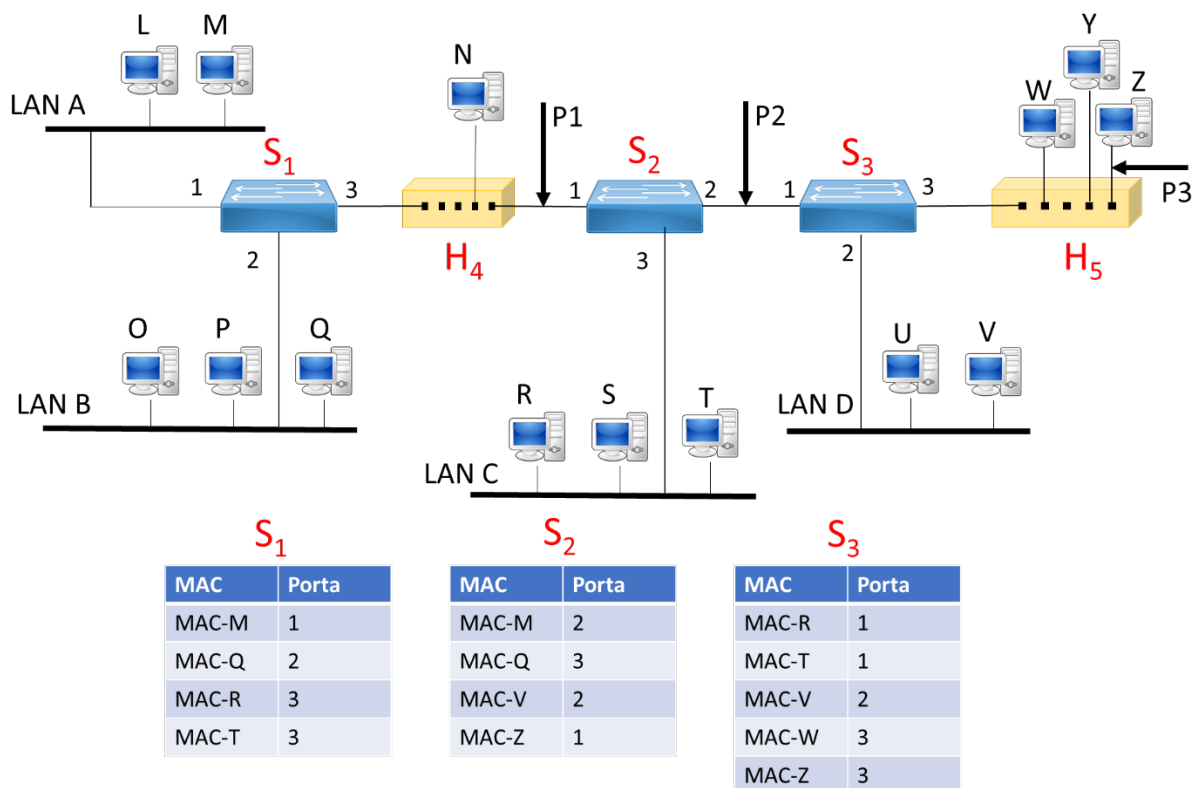
Pacch.	interfaccia	MAC Destinazione	IP Destinazione	Size	Flag D	TTL
1	eth1	BB:22:22:BB:BB:BB	132.14.7.44	1200 B	0	1
2	eth2	CC:33:33:CC:CC:CC	132.14.65.1	600 B	1	65
3	eth1	EE:00:11:EE:EE:EE	132.14.196.0	800 B	1	36
4	eth0	AA:11:11:AA:AA:AA	132.14.91.63	1200 B	0	40
5	eth2	CC:33:33:CC:CC:CC	0.0.0.17	1000 B	0	1

scartato a livello 3 (riga 5)
inoltrato diretto su eth0
scartato a livello 2
inoltrato riga 4
passato livelli superiori

Quesiti 4

(8 punti)

Q1 (2 punti)



Si consideri la configurazione di LAN mostrata in figura che comprende 3 switch (S₁, S₂, S₃), due hub (H₄, H₅) e 14 host (L, M, N, ..., Z), i cui MAC address siano indicati con MAC-x e gli indirizzi IP con IP-x (x=L, M, N, ..., Z).

La figura riporta anche il contenuto delle tabelle di inoltra dei tre switch. **Attenzione: le tabelle di inoltra sono statiche, ovvero le entry presenti non vengono modificate e nessuna nuova entry viene aggiunta a seguito dello scambio di trame dell'esercizio (N.B. Il contenuto delle tabelle di inoltra può anche essere non coerente con la posizione effettiva degli host nella rete).**

Per ciascuna delle seguenti trame, indicare a quale/i dei punti di osservazione P1, P2, P3 può essere osservata la trama.

Q1 (A)

MAC-Sorgente → MAC-Destinazione

MAC-M → MAC-Z

MAC-W → MAC-R

MAC-T → MAC-Q

ARP request inviata dall'host L rispetto a IP-M

M→Z : P1
W→R : P1, P2, P3
T→Q: nessuno
ARP req. L→M: P1, P2, P3

Q1 (B)

MAC-Sorgente→MAC-Destinazione

MAC-V → MAC-T
MAC-P → MAC-M
MAC-N → MAC-Q
ARP request inviata dall'host U rispetto a IP-W

V→T: P1, P2
P→M: nessuno
N→Q: P1
ARP req. U→W: P1, P2, P3

Q1 (C)

MAC-Sorgente→MAC-Destinazione

MAC-U → MAC-R
MAC-T → MAC-V
MAC-W → MAC-M
ARP request inviata dall'host N rispetto a IP-V

U→R: P1, P2
T→V: P2
W→M: P2, P3
ARP req. N→V: P1, P2, P3

Q2 (4 punti)

Si consideri un collegamento *full-duplex* in fibra ottica tra due server in un *data center*, attraverso il quale deve essere trasferito un file di dimensione $D=4$ kB. Il collegamento sia di lunghezza $d=15$ m e capacità $C=10$ Gbit/s.

Si ipotizzi che il file sia trasmesso in pacchetti tutti uguali di dimensione $L=200$ B, di cui $H=40$ B costituiscono l'header di ciascun pacchetto, e che gli ACK siano di dimensione trascurabile.

1. Si calcoli il tempo totale di trasferimento del file (fino alla ricezione dell'ultimo riscontro) assumendo un protocollo ARQ di tipo STOP&WAIT [in μ s].
2. Si calcoli il *throughput effettivo (dati)* del collegamento nel caso si usi il protocollo STOP&WAIT [in Gbit/s].
3. Si indichi il valore minimo della finestra di trasmissione del protocollo GO-BACK-N che garantisca la massima efficienza del protocollo.

4. Si calcoli il tempo totale di trasferimento del file (fino alla ricezione dell'ultimo riscontro) assumendo che si usi il protocollo GO-BACK-N con la finestra dimensionata precedentemente [in μs].

Soluzione

Fibra ottica $\rightarrow 1/v = 5 \mu s/km = 5 ns/m$

$\tau = d/v = 75 ns$

$T = L/C = 160 ns$

$L = P + H \rightarrow$ payload in ciascun pacchetto: $P = L - H = 160 B$

Nr pacchetti: $N = D/P = 25$

1. $T_{S\&W} = N(T + 2\tau) = 7750 ns = 7.75 \mu s$
2. $THR_{S\&W} = \frac{D}{T_{S\&W}} = 4.12903225806 Gbit/s \approx 4.129 Gbit/s$
3. $W_{ott} = \left\lceil \frac{T+2\tau}{T} \right\rceil = 2$
4. $T_{GBN} = NT + 2\tau = 4150 ns = 4.15 \mu s$

Q3 (2 punti)

```
> Frame 30: 54 bytes on wire (432 bits), 54 bytes captured (432 bits)
> Ethernet II, Src: Xerox_00:00:00 (00:00:01:00:00:00), Dst: fe:ff:20:00:01:00 (fe:ff:20:00:01:00)
> Internet Protocol Version 4, Src: 145.254.160.237, Dst: 65.208.228.223
✓ Transmission Control Protocol, Src Port: 3372, Dst Port: 80, Seq: 480, Ack: 13801, Len: 0
  Source Port: 3372
  Destination Port: 80
  [Stream index: 0]
  [TCP Segment Len: 0]
  Sequence number: 480      (relative sequence number)
  [Next sequence number: 480      (relative sequence number)]
  Acknowledgment number: 13801      (relative ack number)
  0101 .... = Header Length: 20 bytes (5)
> Flags: 0x010 (ACK)
  Window size value: 9660
  [Window size scaling factor: -2 (no window scaling used)]
  Checksum: 0x419d [unverified]
  [Checksum Status: Unverified]
  Urgent pointer: 0
> [SEQ/ACK analysis]
> [Timestamps]
```

Nella cattura wireshark in figura è mostrato il contenuto di un header TCP.

- 1) Quale host sta inviando il pacchetto catturato? **Client http**
- 2) Indicare il numero dell'ultimo byte ricevuto correttamente dall'host. **13800**
- 3) Indicare il numero dell'ultimo byte che l'host potrebbe accettare anche se fuori sequenza. **23460 (=13801+9660-1)**