



Soluzioni esercizi Parte I

Luca Veltri

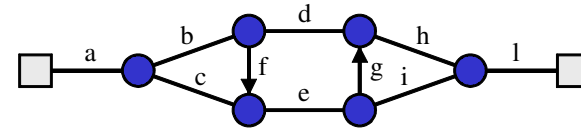
(mail.to: luca.veltri@unipr.it)

Corso di Reti di Telecomunicazione, a.a. 2011/2012

<http://www.tlc.unipr.it/veltri>

Esercizio 1.1 (soluz.)

- 1) Etichettando i rami della rete come in figura

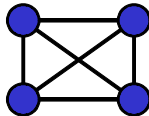


è possibile individuare i seguenti 5 cammini privi di cicli (loop):

- a-b-d-h-l
 - a-b-f-e-g-h-l
 - a-b-f-e-i-l
 - a-c-e-g-h-l
 - a-c-e-i-l
- 2) il nmu min di tagli è 2 (e.g. i rami "c" e "b")

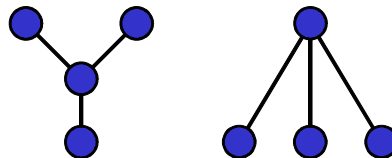
Esercizio 1.2 (soluz.)

- 1) maglia completa

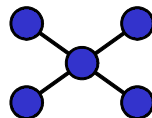


- 2) stella con i soli 4 nodi

➤ le due topologie sono equivalenti



- 2bis) stella con un ulteriore nodo centrale



Esercizio 1.3 (soluz.)

- $T_{TOT} = L/C_1 + d_1/v_0 + T_{elab} + L/C_2 + d_2/v_0 + T_{elab} + L/C_3 + d_3/v_0$

- 1) con:

- $L = 500B = 4000b$
- $C_1 = C_2 = C_3 = 100Mb/s$
- $d_{TOT} = d_1 + d_2 + d_3 = 400m$
- $T_{elab} = 2ms$

$$T_{TOT} = 3 L/C_1 + 2 T_{elab} + d_{TOT}/v_0$$

$$T_{TOT} = 4,122 \text{ ms}$$

- 2) con:

- $C_1 = C_3 = 1Mb/s$ e $C_2 = 10Mb/s$

$$T_{TOT} = 2 L/C_1 + L/C_2 + 2 T_{elab} + d_{TOT}/v_0$$

$$T_{TOT} = 12,402 \text{ ms}$$

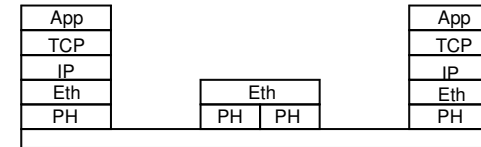
Esercizio 1.4 (soluz.)

- $T_{TOT} = 2 L/C_1 + L/C_3 + L/C_4 + 3 T_{elab} + 4d_1/c_0$
- $T_{TOT} = 8 \times 10^{-5} s + 4 \times 10^{-4} s + 4 \times 10^{-3} s + 3 \times 10^{-3} s + 4 \times 10^{-4} s$
- $T_{TOT} = 7,88 \text{ ms}$

5

Esercizio 2.1 (soluz.)

- 1) architettura protocollare della comunicazione tra H1 e H2



- 2) numero complessivo di UI inviate a livello PH
 - **MTU a livello App = AppMTU = EthMTU - L_{IPH} - L_{TCPH} - L_{AppH} = 1500B - 40B = 1460B**
 - **numero di UI: 5000B div 1460B = ⌈5000/1460⌉ = 4**

- 3) dimensione e formato UI

➢ **3x UI di 1460B+58B=1518B :**

18B	20B	20B	1460B
EthH	IPH	TCPH	App data

➢ **1x UI di 620B+58B=678B :**

18B	20B	20B	620B
EthH	IPH	TCPH	App data

6

- 4) tempo necessario a H1 per trasmettere tutte le UI (tempo totale di trasmissione)
 - $T_{Tx} = 3 \times (1518B / (1Mb/s)) + 1 \times (678B / (1Mb/s)) = (3 \times 1518B + 678B) / (1Mb/s)$
 $= (5000B + 4 \times 58B) / (1Mb/s) = (5232 \times 8b) / (1Mb/s) = 41856 \mu s = 41.856 \text{ ms}$
- 3) coefficiente di utilizzazione del collegamento a livello PH, calcolato come quota parte dei bit utili rispetto a bit totali inviati
 - $\rho = 5000 / 5232 = 0,956$

7

Esercizio 2.2 (soluz.)

- 1) Eth-PDU = Eth-PCI + IP-PCI + UDP-PCI + App-PDU

ovvero, con altra notazione:

UI = EthH + IPH + UDPH + data (+EthT)

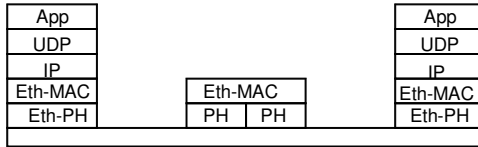
per un totale di: 18B+20B+8B+160B = 206B

- 2) overhead introdotto per singolo pacchetto:
 - **(overhead)/(tot) = 46/206 = 22,33%**
 - **(overhead)/(userdata) = 46/160 = 28,75%**
- 3) bit rate medio a tra Eth-MAC e Eth-PH:
 - **206B / 20ms = 82,4kb/s**

8

Esercizio 2.3 (soluz.)

- 1) rappresentare l'architettura protocollare complessiva della comunicazione

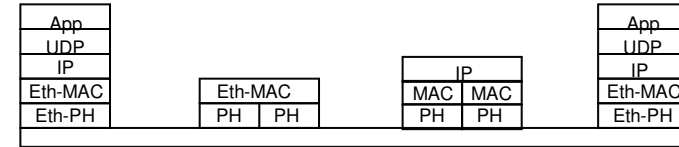


- 2) tempo di ritardo end-to-end per il trasferimento delle UI dati
 - $T_{TOT} = 2 L_{Eth-PDU} / (100Mb/s) + T_{elab} + 2 d / (200000Km/s)$
 - $T_{TOT} = 6,176 \cdot 10^{-5}s + 2 \cdot 10^{-6}s + 1 \cdot 10^{-6}s = 64,76\mu s$
- 3) throughput (carico) medio a livello IP
 - $L_{IP-PDU} = 320+12+8+20 B = 360B$
 - $TH_{IP} = (360 \times 8bit) / 20ms = 144kb/s$

9

Esercizio 2.4 (soluz.)

- Architettura di comunicazione tra T1 e T4



Esercizio 2.5 (soluz.)

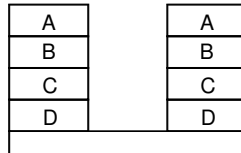
- NON è presente nessun collegamento tra entità alla pari (stesso tipo) che corrisponde alla seguente topologia (la terza):



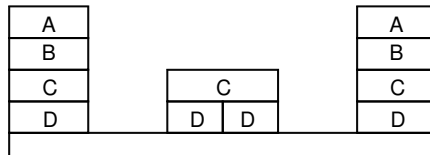
10

Esercizio 2.6 (soluz.)

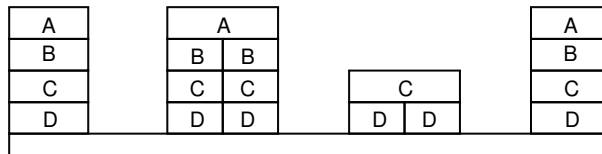
- S1 -- S3



- S1 -- S3 -- S4



- s1 -- S2 -- S3 -- S4



11

Esercizio 2.7 (soluz.)

- A livello (A) vengono inviate 3 PDU controllo, 5 PDU dati e 2 PDU controllo
- ogni A-PDU viene incapsulata in una B-PDU in C-PDU per un totale di $20B+20B+10B=50B$ di PCI
- per un totale di
 - $50B \times 3 + (50B+800B) \times 5 + 50B \times 2 = 50B \times 10 + 800 \times 5 = 4500B$
- 1) numero UI scambiate a livello C tra T1 e R:
 - $10 UI$
- 2) grado di utilizzazione:
 - $4000B/4500B = 0,889$

12

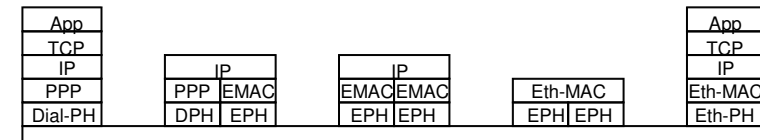
Esercizio 2.8 (soluz.)

- A livello (A) vengono inviate 3 PDU controllo, 5 PDU dati e 2 PDU controllo
- ogni A-PDU di controllo viene incapsulata in una B-PDU e in una C-PDU per un totale di $20B+20B+10B=50B$
- ogni A-PDU dati viene incapsulata in due B-PDU per un totale di:
 - **A-PDU1 --> $(460B+20B)+20B+10B=510B$**
 - **A-PDU2 --> $340B+20B+10=370B$**
- per un totale di
 - **$50B \times 3 + (510B+370B) \times 5 + 50B \times 2 = 4650B$**
- 1) numero UI scambiate a livello C tra T1 e R:
 - **15 UI**
- 2) grado di utilizzazione:
 - **$4000B/4650B = 0,86$**

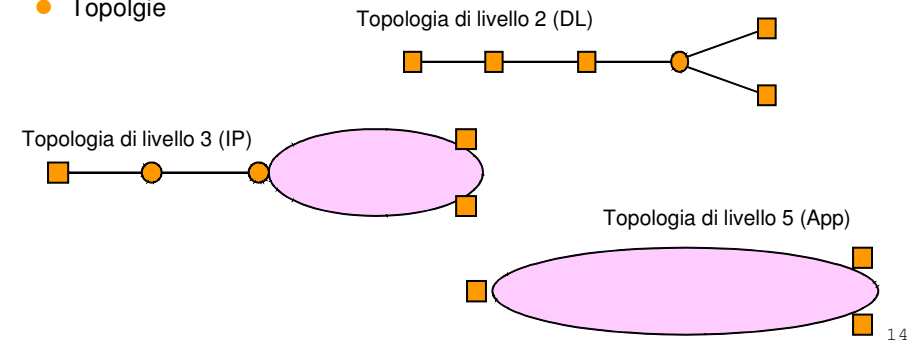
13

Esercizio 2.9 (soluz.)

- Architettura di comunicazione tra H1 e H2



- Topologie



14

Esercizio 2.10 (soluz.)

- $T_{TOT} = T_{TX1} + T_{p1} + T_R + T_{TX2} + T_{p2} + T_R + T_{TX3} + T_{p3} + T_{SW} + T_{TX4} + T_{p4} = T_{TX\ TOT} + T_{p\ TOT} + 2T_R + T_{SW}$
- con $T_{TX\ TOT} = L_{DPH-PDU}/C_{Dialup} + 3 L_{EPH-PDU}/C_{ethernet} = (560 \cdot 8 / 2 \cdot 10^5) \text{sec} + 3(570 \cdot 8 / 10^8) \text{sec} = 22,4 \text{ms} + 0,1368 \text{ms}$
- $T_{p\ TOT} = 2400 \text{m} / (2 \cdot 10^8 \text{m/s}) = 0,012 \text{ms}$
- quindi $T_{TOT} = 27,5488 \text{ms}$

15

Esercizio 2.11 (soluz.)

- Nell'ipotesi di indipendenza statistica degli eventi di bit errato all'interno dello stesso pacchetto, si ha:

$$\Pr\{\text{pacchetto errato}\} = 1 - \Pr\{\text{pacchetto corretto}\} = 1 - (\Pr\{\text{bit corretto}\})^{L_{PH-PDU}} = 1 - (1 - \Pr\{\text{bit errato}\})^{L_{PH-PDU}}$$
- Nel caso di ramo di Dialup:
 - **$\Pr\{\text{pacchetto errato}\} = P1 = 1 - (1-10^{-3})^{560 \times 8} = 0,9887$**
- Nel caso di ramo di Ethernet:
 - **$\Pr\{\text{pacchetto errato}\} = P2 = 1 - (1-10^{-5})^{570 \times 8} = 0,0446$**
- Supponendo che sia trascurabile la probabilità di falso positivo (errore sul pacchetto non rilevato), si ha:
 - **$\Pr\{\text{pacchetto scartato tra H1 e H2}\} = P1 + (1-P1)P2 + (1-P1)(1-P2)P2 + (1-P1)(1-P2)(1-P2)P2 = 1 - (\Pr\{\text{pacchetto corretto tra H1 e H2}\}) = 1 - (1-P1)(1-P2)^3$**

16

Esercizio 4.1 (soluz.)

- 1) Trama inviata dal protocollo SLIP (SLIP-PDU) verso l'entità remota (e consegnata allo strato PH):

192	11	12	9	200	219	221	219	221	220	219	220	14	7	192
-----	----	----	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	---	-----

- 2) SLIP-SDU consegnata allo strato superiore

5	6	220	219	192	220
---	---	-----	-----	-----	-----

Esercizio 4.2 (soluz.)

- 1) Effettiva sequenza di bit passati allo strato PH

0111111010110111110111110101010101111110
--

- 2) UI estratta

1111111

Esercizio 4.3 (soluz.)

- 1) Circuiti virtuali già instaurati:
 - B → E
 - B → D
 - C → D

- 2) Routing table con la nuova connessione C → E:

Routing Table M			
IN		OUT	
Link	VCI	Link	VCI
1	a	3	b
2	a	3	e
1	b	3	a
2	c	3	d

Routing Table H			
IN		OUT	
Link	VCI	Link	VCI
2	c	3	d
2	a	3	e
2	b	3	b
2	d	3	a

Routing Table L			
IN		OUT	
Link	VCI	Link	VCI
1	b	3	d
1	d	2	a
1	c	2	d
1	a	3	b

Esercizio 4.4 (soluz.)

- 1) VC (Circuiti Virtuali) correttamente instaurati:
 - B → D (ovvero: B → SW1 → SW3 → SW2 → D)
 - B → E (ovvero: B → SW1 → SW3 → E)

- 2) Errori commessi in fase di configurazione:

Switching Table SW1			
IN		OUT	
Link	VCI	Link	VCI
1	25	3	8
2	25	3	8
2	33	4	8
2	19	4	17

Switching Table SW2			
IN		OUT	
Link	VCI	Link	VCI
4	8	3	20
1	8	2	42
1	8	3	16

Switching Table SW3			
IN		OUT	
Link	VCI	Link	VCI
1	8	3	16
1	17	2	8

- Errore: scelto medesimo VCI su medesimo link per 2 differenti VC

Esercizio 4.5 (soluz.)

Switching Table G			
IN		OUT	
Link	VCI	Link	VCI
1	a	3	a
1	b	3	b
2	a	3	c
2	b	3	d

Switching Table H			
IN		OUT	
Link	VCI	Link	VCI
1	a	3	a
1	b	2	a
1	c	3	b
1	d	2	b
3	a	2	c

Switching Table L			
IN		OUT	
Link	VCI	Link	VCI
1	a	3	a
1	b	2	a
1	c	3	b

21

Esercizio 4.6 (soluz.)

- 1) Tempo complessivo necessario per inviare una UI e ricevere il riscontro
 - $T1 = Tu + Tp + Ta + Tp = Tu + Ta + 2Tp$
- 2) Grado di utilizzazione massimo del canale di comunicazione
 - **valore max in assenza di errori (e di ritrasmissioni)**
 - $\rho = Tu/T1 = Tu / (Tu + Ta + 2Tp)$
- 3) Se $Tu = Ta$
 - $\rho = 1 / (2 + 2Tp/Tu)$
 - se $Tu \gg Tp$, $\rho \rightarrow 1/2$
 - se $Tu \ll Tp$, $\rho \rightarrow 0$
- 4) Se $Tu \gg Ta$
 - $\rho = 1 / (1 + 2Tp/Tu)$
 - se $Tu \gg Tp$, $\rho \rightarrow 1$
 - se $Tu \ll Tp$, $\rho \rightarrow 0$
- 5) Se $Tp \gg Tu$
 - $\rho \approx 0$

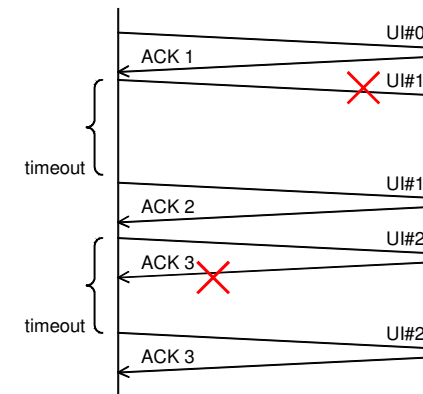
22

Esercizio 4.7 (soluz.)

- 1) Numero medio di tentativi per inviare una UI e ricevere il riscontro correttamente
 - **a = numero di tentativi**
 - $P_a(1) = Pr\{a=1\} = 1-p$
 - $P_a(2) = p(1-p)$
 - $P_a(k) = p^{k-1}(1-p)$
 - **valore medio di a = $E\{a\} = \sum k p^{k-1}(1-p) = (1-p) \sum k p^{k-1} =$**
 $= (1-p) \sum d(p^k)/dp = (1-p) d(\sum p^k)/dp = (1-p) d(1/(1-p))/dp =$
 $= (1-p) / (1-p)^2 = 1/(1-p)$
 - **tempo medio per inviare una UI = $E\{T\} = E\{a\}T1 = (Tu+ta+2Tp)/(1-p)$**
- 2) Grado di utilizzazione medio del canale di comunicazione
 - $\rho = Tu / E\{T\} = (1-p)Tu/T1$

23

Esercizio 4.8 (soluz.)



24

Esercizio 4.9 (soluz.)

- Tempo complessivo necessario per inviare N UI consecutive e correttamente riscontrate, nel caso che $N < W_T$
 - $T_N = N T_u + 2T_p + T_a = (N-1)T_u + T_1$

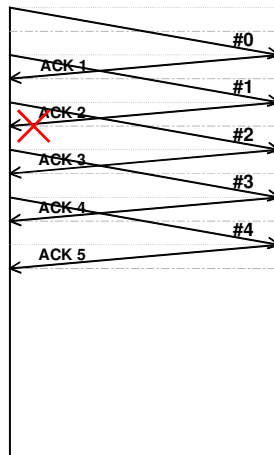
Esercizio 4.10 (soluz.)

- Tempo complessivo necessario per inviare le N UI (e riceverne riscontro positivo):
 - tempo impiegato per trasmettere una UI = T_u
 - tempo impiegato per trasmettere 3 ($W_T=3$) UI = $3 T_u$
 - tempo impiegato per inviare prima UI e ricevere primo ACK = $T_1 = T_u + T_a + 2T_p = 6T_u$
 - tempo impiegato per trasmettere quarta UI = T_u
 - tempo impiegato per trasmettere quinta (e ultima) UI e ricevere relativo ACK = T_1
 - tempo complessivo = $T_1 + T_u + T_1 = 13T_u$
- In generale (per qualsiasi valore di W_T e N), è possibile ricavare che:
 - se $T_1 \leq W_T T_u$:
 - $T = (N-1)T_u + T_1$
 - se $T_1 \geq W_T T_u$:
 - $T = ((N-1) \text{ div } W_T)T_1 + ((N-1) \text{ mod } W_T)T_u + T_1 = T_1(1 + ((N-1) \text{ div } W_T)) + T_u((N-1) \text{ mod } W_T)$

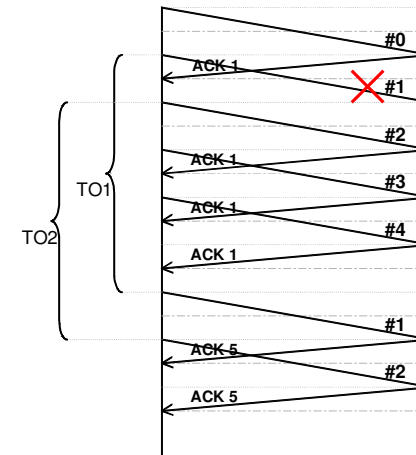
con:
 $x \text{ div } y = \text{int}(x/y)$ = parte intera di x/y
 $x \text{ mod } y$ = resto della divisione x/y
- Se $W_T=3$, $N=5$, $T_1=6T_u$, si ha:
 - $T = 2T_1 + T_u = 13T_u$

Esercizio 4.11 (soluz.)

- Diagramma completo dei messaggi scambiati tra i nodi A e B nell'ipotesi che si perda (o arrivi errata) l'ACK relativo alla seconda UI



- Diagramma completo dei messaggi scambiati tra i nodi A e B nell'ipotesi che si perda (o arrivi errata a destinazione) la seconda UI



Esercizio 4.12 (soluz.)

- L'operazione di stuffing aumenta di 1 la lunghezza di ogni occorrenza di A o di C; quindi dopo l'operazione di stuffing un carattere generico avrà lunghezza $L_1 =$
 - 1, con probabilità $254/256 = 1 - 2p$
 - 2, con probabilità $2/256 = 2p$
 - dove $p = 1/256$ è la probabilità di occorrenza dei singoli caratteri (e quindi anche di A e C)
- Da cui si ottiene il valore medio di L_1 :
 - $E\{L_1\} = 1(1 - 2p) + 2 \cdot 2p = 1 + 2p$
- Data una UI di lunghezza L, dopo l'operazione di stuffing il valore medio della sua lunghezza è:
 - $L' = 2 + L(1 + 2p)$
- Mediando sulla lunghezza L si ha:
 - $E\{L'\} = E\{2 + L(1 + 2p)\} = 2 + L_m(1 + 2p)$
- Con un overhead totale rispetto alla lunghezza originaria:
 - $OH = (2 + L_m(1 + 2p) - L_m) / L_m = (2 + L_m \cdot 2p) / L_m$

29

Esercizio 4.13 (soluz.)

RT-R1	
Dest.	Next Hop
T1	T1
T2	R4
T3	R2
T4	R2

RT-R2	
Dest.	Next Hop
T1	R1
T2	R4
T3	R3
T4	R3

RT-R3	
Dest.	Next Hop
T1	R2
T2	R2
T3	T3
T4	R5

RT-T1	
Dest.	Next Hop
T1	-
T2	R1
T3	R1
T4	R1

30

Esercizio 4.14 (soluz.)

RT-SW1	
Dest.	Output
A	1
B	1
C	3
D	2
E	2

RT-SW2	
Dest.	Output
A	1
B	1
C	1
D	2
E	2

31

Esercizio 4.15 (soluz.)

- Tabelle di instradamento di R1, R2 e R3:

RT-R1	
Dest.	Next Hop
A	-
B	-
C	R2
D	R2
E	R2

RT-R2	
Dest.	Next Hop
A	R1
B	-
C	-
D	R3
E	R3

RT-R3	
Dest.	Next Hop
A	R2
B	R2
C	-
D	-
E	-

- Oppure, nel caso sia possibile identificare l'unione di più reti con un unico identificativo:

RT-R1	
Dest.	Next Hop
A	-
B	-
C+D+E	R2

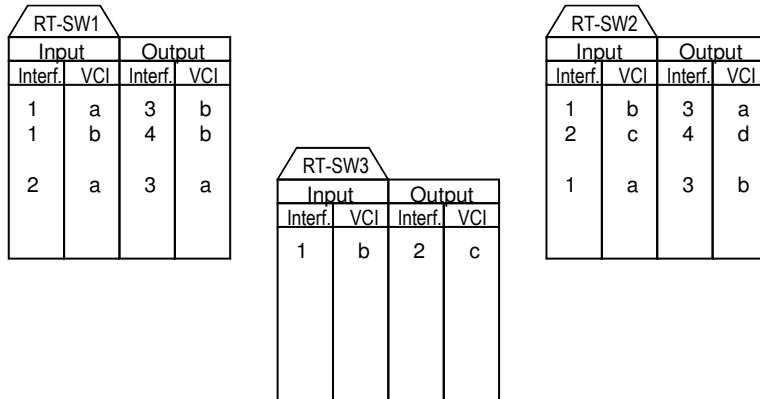
RT-R2	
Dest.	Next Hop
A	R1
B	-
C	-
D+E	R3

RT-R3	
Dest.	Next Hop
A+B	R2
C	-
D	-
E	-

32

Esercizio 4.16 (soluz.)

- VCI della connessione B→C [B-SW1-SW2-C] = a,a,b
- Tabelle di switching:



33

Esercizio 4.17 (soluz.)

- $L_{PDU} = 1000B + 20B = 1020B$
- Rete 1
 - $PDU1, L = 1000B + 20B = 1020B$
- Rete 2
 - $PDU1, L = 480B + 20B = 500B$
 - $PDU2, L = 480B + 20B = 500B$
 - $PDU3, L = 40B + 20B = 60B$
- Rete 3
 - $PDU1, L = 480B + 20B = 500B$
 - $PDU2, L = 480B + 20B = 500B$
 - $PDU3, L = 40B + 20B = 60B$

34

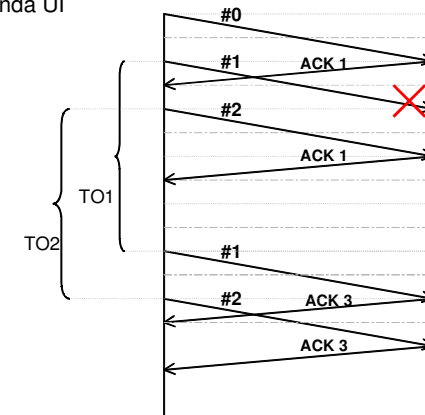
Esercizio 4.18 (soluz.)

- $L_{PDU} = 1000B + 20B = 1020B$
- Rete 1
 - $PDU1, L = 1000B + 20B = 1020B$
- Rete 2
 - $PDU1, L = 480B + 20B = 500B$
 - $PDU2, L = 480B + 20B = 500B$
 - $PDU3, L = 40B + 20B = 60B$
- Rete 3
 - $PDU1(1.1), L = 180B + 20B = 200B$
 - $PDU2(1.2), L = 180B + 20B = 200B$
 - $PDU3(1.3), L = 120B + 20B = 140B$
 - $PDU4(2.1), L = 180B + 20B = 200B$
 - $PDU5(2.2), L = 180B + 20B = 200B$
 - $PDU6(2.3), L = 120B + 20B = 140B$
 - $PDU7(3), L = 40B + 20B = 60B$

35

Esercizio 4.19 (soluz.)

- 1) Diagramma completo dei messaggi scambiati tra i nodi A e B nell'ipotesi che si perda (o arrivi errata) la seconda UI



- 2) Tempo complessivo per ricevere primo riscontro dell'ultima UI (UI#2):

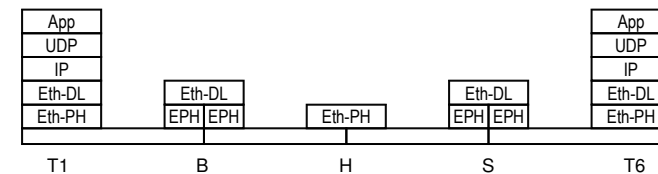
$$T_{TOT} = T_u + TO + (T_u + T_a) = 6,5 T_u$$

36

LAN

Esercizio 7.1 (soluz.)

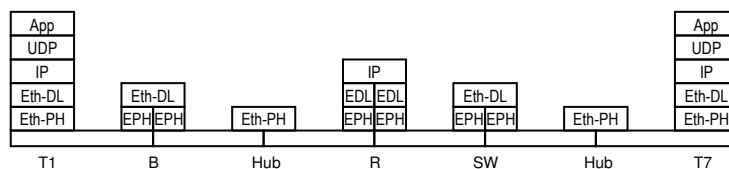
- a) Domini di collisione MAC presenti (nodi che partecipano attivamente al MAC):
 - D1 = {T1, T2, T3, B}
 - D2 = {B, T4, T5, S}
 - D3 = {S, T6}
 - D4 = {S, T7}
- b) Massimo diametro tra i domini di collisione presenti:
 - $d_{MAX} = 150m$ (e.g. B-T4)
- c) Architettura protocollare relativa alla comunicazione tra due applicazioni residenti nei terminali T1 e T6:



38

Esercizio 7.2 (soluz.)

- a) Domini di collisione MAC presenti (nodi che partecipano attivamente al MAC):
 - D1 = {T1, T2, T3, B}
 - D2 = {B, T4, T5, R}
 - D3 = {R, S}
 - D4 = {S, T6, T7}
- b) Massimo diametro tra i domini di collisione presenti:
 - $d_{MAX} = 170m$
- c) Architettura protocollare relativa alla comunicazione tra due applicazioni residenti nei terminali T1 e T7:



39

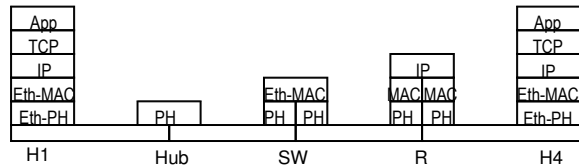
Esercizio 7.3 (soluz.)

- Ritardo di trasferimento di un pacchetto di L bytes dal terminale al router:
 - $T_{TOT} = 2L/(100Mb/s) + T_{hub} + T_{sw} + (d1+d2+d3)/(200000Km/s)$
- Massima distanza possibile tra il terminale e l'hub imposta dal protocollo di accesso al mezzo CSMA/CD
 - il tempo max di propagazione da estremo a estremo deve essere inferiore al tempo di trasmissione di UI (trama) di dim minima (64B), quindi:
 - $2(Tp+T_{hub}) < 64B/(100Mb/s)$
 - $(d1+d2)/c_0 + T_{hub} < 256 \cdot 10^{-8}s$
 - $(d1+d2) < c_0(2,56\mu s - T_{hub}) = 512m - c_0 T_{hub}$
 - $d1 < 412m - c_0 T_{hub}$
 - esempio, se $T_{hub} = 1\mu s$, $\Rightarrow d1 < 412m - 2 \cdot 10^8m/s \cdot 10^{-6}s = 412m - 200m = 212m$

40

Esercizio 7.4 (soluz.)

- a) Domini di collisione MAC presenti, indicando per ognuno di essi i nodi che partecipano al MAC e il relativo diametro max:
 - D1 = {H1, H2, SW}, d=200
 - D2 = {SW, H3}, d=100
 - D3 = {SW, R}, d=120
 - D4 = {R, H4}, d=70
- c) Ethernet in modalità full-duplex possibile tra:
 - SW-H3
 - SW-R
 - R-H4
- b) Architettura protocollare relativa alla comunicazione tra due applicazioni basate su TCP/IP e residenti nei nodi H1 e H4



Esercizio 7.5 (soluz.)

