



Soluzioni esercizi Reti di TLC Parte I

Luca Veltri

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

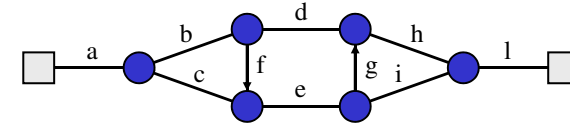
Corso di Reti di Telecomunicazione, a.a. 2013/2014

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



Esercizio 1.1 (soluz.)

- 1) Etichettando i rami della rete come in figura



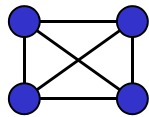
è possibile individuare i seguenti 5 cammini privi di cicli (loop):

- 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")

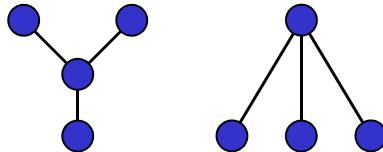


Esercizio 1.2 (soluz.)

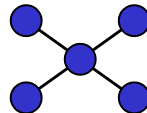
- 1) maglia completa



- 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 $C_2 = 10Mb/s$

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

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

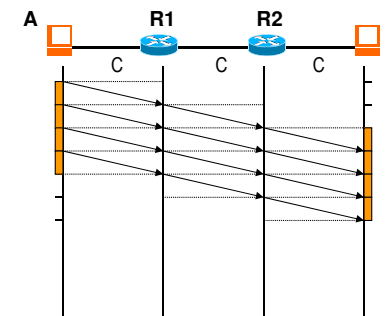
Esercizio 1.4 (soluz.)

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

5

Esercizio 1.5 (soluz.)

- $M=4000 \text{ B}, L=1000 \text{ B} \Rightarrow k=4 \text{ PDU}$
- $C= 1 \text{ Mb/s}$

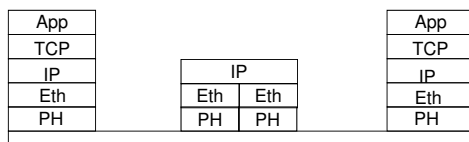


- Dalla figura si ricava che:
 - $T_{Tx}(1 \text{ PDU}, 1 \text{ ramo}) = T_1 = L/C$
 - $T_{Tx}(4 \text{ PDU}, 3 \text{ rami}) = 2 T_1 + 4 T_1 = 6 L/C = 6 (8 \text{ kb}/1 \text{ Mb}) s = 48 \text{ ms}$

6

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: $\lceil 5000/1460 \rceil = 4$**

- 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

7

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

8

Esercizio 2.2 (soluz.)

- 1) Eth-PDU = Eth-PCI + IP-PCI + UDP-PCI + App-PDU
ovvero, con altra notazione:

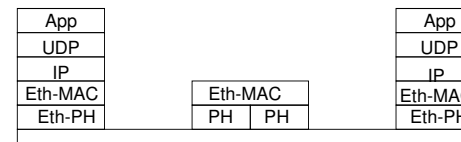
$$UI = EthH + IPH + UDPH + data (+EthT)$$

$$\text{per un totale di: } 18B+20B+8B+160B = 206B$$

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

Esercizio 2.3 (soluz.)

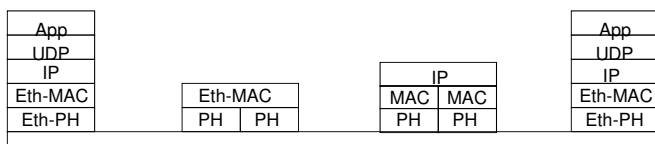
- 1) rappresentare l'architettura protocollare complessiva della comunicazione



- 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
 - > $L_{IP-PDU} = 320+12+8+20 B = 360B$
 - > $TH_{IP} = (360 \times 8bit) / 20ms = 144kb/s$

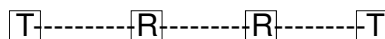
Esercizio 2.4 (soluz.)

- Architettura di comunicazione tra T1 e T4



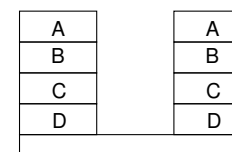
Esercizio 2.5 (soluz.)

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

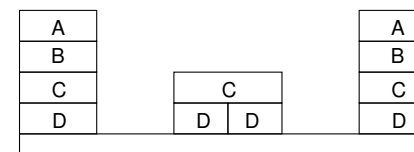


Esercizio 2.6 (soluz.)

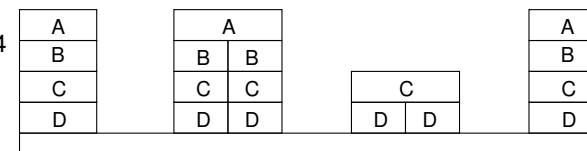
- S1 -- S3



- S1 -- S3 -- S4



- s1 -- S2 -- S3 -- S4



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:
 - $4000B/4500B = 0,889$

13

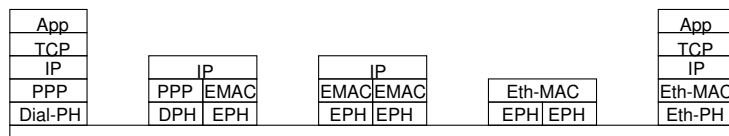
Esercizio 2.8 (soluz.)

- 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:
 - $4000B/4650B = 0,86$

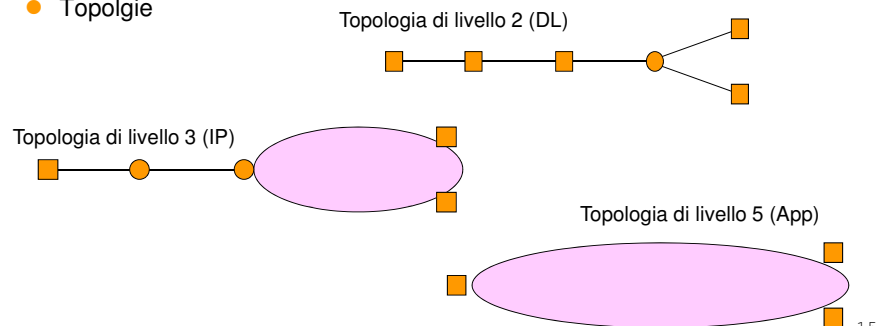
14

Esercizio 2.9 (soluz.)

- Architettura di comunicazione tra H1 e H2



- Topologie



15

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
 - $T_{TOT} = 27,5488 \text{ms}$

16

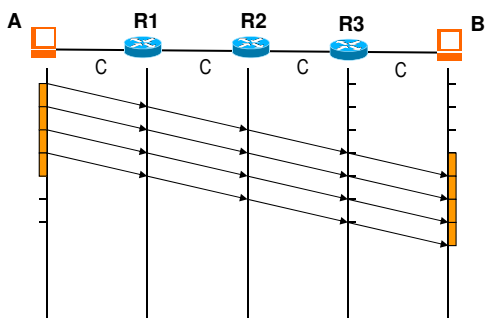
Esercizio 2.11 (soluz.)

- 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:
 - $\Pr\{\text{pacchetto errato}\} = P1 = 1 - (1-10^{-5})^{560 \times 8} = 0,0438$
- Nel caso di ramo di Ethernet:
 - $\Pr\{\text{pacchetto errato}\} = P2 = 1 - (1-10^{-6})^{570 \times 8} = 0,00455$
- Supponendo che sia trascurabile la probabilità di falso positivo (errore sul pacchetto non rilevato), si ha:
 - $\Pr\{\text{pacchetto scartato tra H1 e H2}\} = P1 + (1-P1)P2 + (1-P1)(1-P2)P2 + (1-P1)(1-P2)(1-P2)P2 = 1 - (\Pr\{\text{pacchetto corretto tra H1 e H2}\}) = 1 - (1-P1)(1-P2)^3$

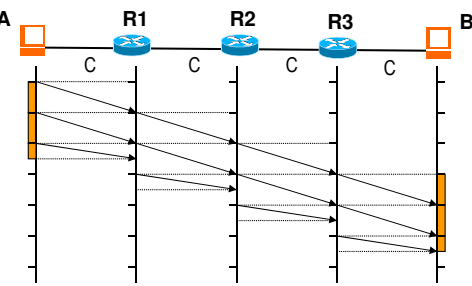
17

Esercizio 2.12 (soluz.)

- $M=4000 \text{ B}, L=1000 \text{ B} \Rightarrow k=4 \text{ PDU}$
 - $C= 4 \text{ Mb/s}$
- 
- Dalla figura si ricava che:
 - $T_{TX}(1 \text{ PDU}, 1 \text{ ramo}) = T_1 = (H+L)/C = (1020\text{B}) / (4000\text{Mb/s}) = 2.04\text{ms}$
 - $T_{TX}(4 \text{ PDU}, 4 \text{ rami}) = 3 T_1 + 4 T_1 = 7 T_1 = 14,28\text{ms}$
 - Rapporto tra byte di intestazione (PCI) e byte dati (SDU):
 - $\alpha = 4H/M = 80/4000 = 0.02$

18

Esercizio 2.13 (soluz.)

- $M=2500 \text{ B}, L=1000 \text{ B} \Rightarrow k=\lceil 2500/1000 \rceil = 3 \text{ PDU}$
 - $C= 4 \text{ Mb/s}$
- 
- Dalla figura si ricava che:
 - $T_{TX}(1 \text{ PDU}_{1000}, 1 \text{ ramo}) = T_{1000} = (H+L_{1000})/C = (1020\text{B}) / (4000\text{Mb/s}) = 2.04\text{ms}$
 - $T_{TX}(1 \text{ PDU}_{500}, 1 \text{ ramo}) = T_{500} = (H+L_{500})/C = (520\text{B}) / (4000\text{Mb/s}) = 1.04\text{ms}$
 - $T_{TX}(2 \text{ PDU}_{1000} + 1 \text{ PDU}_{500}, 4 \text{ rami}) = 3T_{1000} + 2T_{1000} + T_{500} = 5T_{1000} + T_{500} = 11.24\text{ms}$
 - Rapporto tra byte di intestazione e byte dati:
 - $\alpha = 3H/M = 60/2500 = 0.024$

19

Esercizio 2.14 (soluz.)

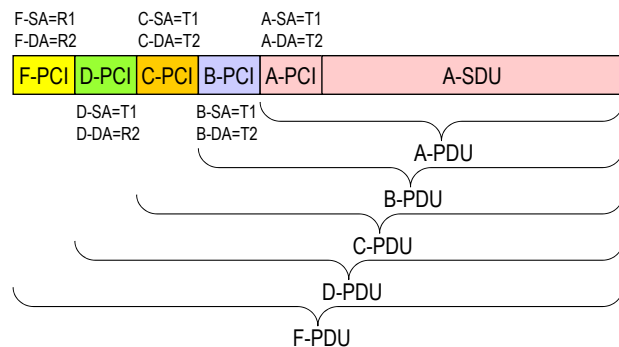
- 1) Nel caso di un unico pacchetto di lunghezza $M+H$
 - $T_{TX \text{ totale}}^{(1)} = n T_{TX}(M+H) = n (M+H)/C = 1/C * [n (M+H)] = 1/C * [3M+3H]$
 - $= 1/(8\text{Mb/s}) * (9060*8\text{b}) = 9,06 \text{ ms}$
 - 2) Nel caso di k pacchetti (con $M=kL$), ciascuno di lunghezza $L+H$
 - $T_{TX \text{ totale}}^{(2)} = n T_{TX}(L+H) + (k-1) T_{TX}(L+H) = 1/C * [n(L+H) + (k-1)(L+H)] = 1/C * [(n+k-1)(L+H)] = 1/C * [5(L+H)] = 1/(8\text{Mb/s}) * (5100*8\text{b}) = 5,1 \text{ ms}$
- Calcolando la differenza $T_{TX \text{ totale}}^{(2)} - T_{TX \text{ totale}}^{(1)}$, si ha:

$$T_{TX \text{ totale}}^{(2)} - T_{TX \text{ totale}}^{(1)} = n (M+H) - (n+k-1)(L+H) = nM + nH - (n-1)L - M - (n-1)H - HM/L = (n-1)M + H - (n-1)L - HM/L = M[(n-1) - H/L] - [(n-1)L - H] = [(n-1)L - H] (M/L - 1)$$
 - poichè $M/L > 1$, allora $T_{TX \text{ totale}}^{(2)} - T_{TX \text{ totale}}^{(1)} > 0$ quando:
 - $(n-1)L - H > 0$
 - $L > H/(n-1), n > 1$

20

Esercizio 2.15 (soluz.)

- Formato di una F-PDU e delle PDU in essa contenute, e corrispondenti Source Address (SA) e Destination Address (DA):



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

0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0

- 2) UI estratta

1 1 1 1 1 1 1 1

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	c
1	b	3	a
2	c	3	d

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

Esercizio 4.6 (soluz.)

- In caso di SDU1 la PDU inviata è la seguente:
 - PDU1 = 10110011 10011000 00001111 00000000 1100
- In caso di SDU2 la PDU inviata è la seguente:
 - PDU2 = 11111111 11011001 11000011 00000111 0101
- Due esempi di bit errati nella SDU1 non rilevati in ricezione (i bit errati sono sottolineati):
 - PDU1_err = 00111011 10011000 00001111 00000000 1100
 - PDU1_err = 10110011 10010111 00001111 00000000 1100
- Esempio di bit errati nella PDU2 (sia nella SDU che nel PCI) non rilevati in ricezione:
 - PDU2_err = 01111111 11011001 11000011 00000111 1101

Esercizio 4.7 (soluz.)

- Checksum (somma complemento a 1) sulla SDU1:


```

10110011
10011000
00001111
00000000
01011010
      1 (riporto)
01011011 (checksum)
            
```
- la PDU1 inviata è la seguente:
 - PDU1 = 10110011 10011000 00001111 00000000 01011011
- Esempio di bit errati nella SDU1 non rilevati in ricezione (i bit errati sono sottolineati):
 - PDU1_err = 10110011 10011000 00001110 00000001 01011011

- Checksum (somma complemento a 1) sulla SDU2:

```

11111111
11011001
11000011
00000111
10100010
      10
10100100
    
```

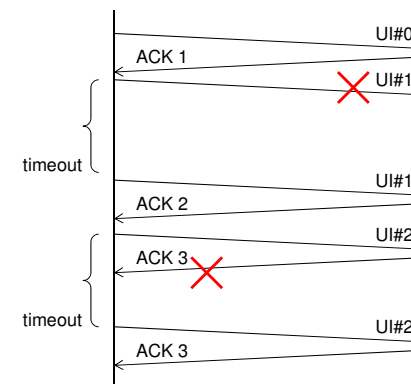
- la PDU2 inviata è la seguente:

➢ PDU2 = 11111111 11011001 11000011 00000111 10100100

- Esempio di bit errati nella PDU2 (sia nella SDU che nel PCI) non rilevati in ricezione:

➢ PDU2_err = 01111111 11011001 11000011 00000111 00100100

Esercizio 4.8 (soluz.)



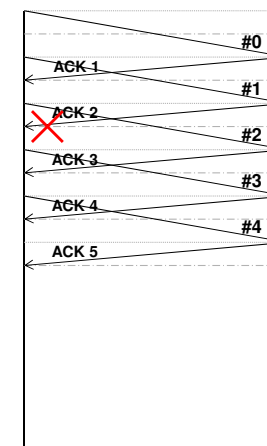
Esercizio 4.10 (soluz.)

- Tempo complessivo necessario per inviare le N UI (e riceverne riscontro positivo):

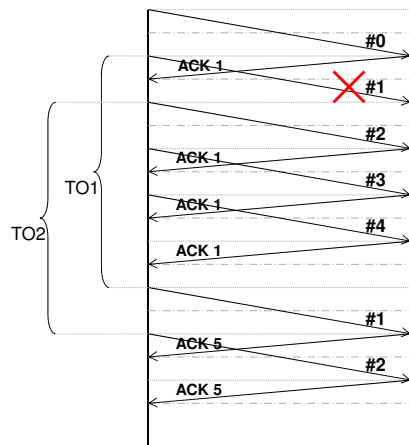
- tempo impiegato per trasmettere una UI = T_u
- tempo impiegato per trasmettere 3 ($W_r=3$) UI = $3 T_u$
- tempo impiegato per inviare prima UI e ricevere primo ACK = $T_1 = T_u + T_a + 2T_p = 6T_u$
- tempo impiegato per trasmettere quarta UI = T_u
- tempo impiegato per trasmettere quinta (e ultima) UI e ricevere relativo ACK = T_1
- tempo complessivo = $T_1 + T_u + T_1 = 13T_u$

Esercizio 4.11 (soluz.)

- 1) 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



- 2) 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:
 - $OH = (2 + L_m(1 + 2p) - L_m) / L_m = (2 + L_m \cdot 2p) / L_m$

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

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

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	-

37

Esercizio 4.16 (soluz.)

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

RT-SW1			
Input		Output	
Interf.	VCI	Interf.	VCI
1	a	3	b
1	b	4	b
2	a	3	a

RT-SW3			
Input		Output	
Interf.	VCI	Interf.	VCI
1	b	2	c

RT-SW2			
Input		Output	
Interf.	VCI	Interf.	VCI
1	b	3	a
2	c	4	d
1	a	3	b

38

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

39

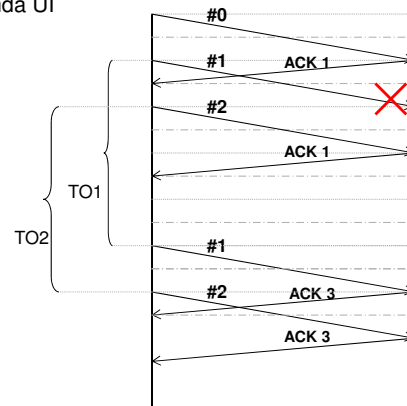
Esercizio 4.18 (soluz.)

- $L_{PDU} = 1000B + 20B = 1020B$
- 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

40

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):

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