



Marco Listanti

Esercizi 3

Architettura a strati



Esercizio 1 (1)

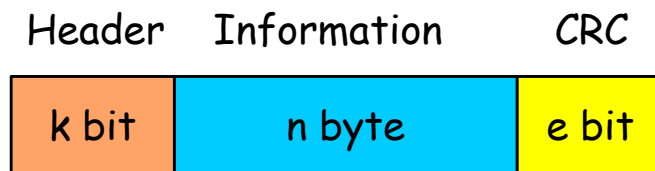
- Si considerino i primi tre strati protocollari di un sistema di telecomunicazioni: strato di rete, strato di collegamento e strato fisico
- Lo strato di rete genera N-PDU di dimensione fissa, costituite da una intestazione di lunghezza $h=52$ bit e da un campo informativo di lunghezza $m=300$ bit.
- A livello di strato di collegamento la DL-PDU è costituita da tre campi:
 - 1) un'intestazione della DL-PDU di lunghezza $k=20$ bit;
 - 2) un campo per il trasferimento dell'informazione di utente costituito da $n=11$ byte
 - 3) un campo di correzione d'errore di lunghezza $e=4$ byte.
- A livello di strato fisico si utilizza uno schema di multiplazione TDM. La trama ha durata $T_f=10$ ms e contiene $N=13$ slot. Gli slot hanno dimensione tale da contenere interamente una DL-PDU; uno degli N slot è dedicato al trasferimento della segnalazione e non può essere utilizzato per la trasmissione delle PDU
- Si chiede di calcolare:
 - 1. la capacità complessiva (C_F) di trasferimento di livello fisico
 - 2. la capacità di trasferimento (C_S) necessaria per trasmettere una N-PDU che si presenta a cadenza di trama
 - 3. l'efficienza di utilizzazione (ρ) relativa al trasferimento dei bit informativi della N-PDU di cui in 2



Esercizio 1 (2)

■ Capacità di trasferimento nello strato fisico

- Un singolo slot di strato fisico è in grado di contenere per intero una DL-PDU, di conseguenza la sua lunghezza L_{slot} è data da



$$L_{slot} = k + (n + e) \cdot 8 = 140 \text{ bit}$$

- La capacità complessiva di strato fisico C_F è data dal rapporto tra la lunghezza L_F di una trama e la sua durata temporale T_F , quindi

$$C_F = \frac{L_f}{T_f} = \frac{N \cdot L_{slot}}{T_f} = \frac{13 \cdot 140}{10} \frac{\text{bit}}{\text{ms}} = 182 \text{ kbit / s}$$



Esercizio 1 (3)

■ Capacità di trasferimento per una N-PDU a cadenza di trama

- La capacità di trasferimento richiesta è data dal numero di slot per trama richiesti per il trasferimento della N-PDU
- Il numero di DL-PDU richiesto per il trasferimento di una N-PDU

$$N_{DL-PDU} = \left\lceil \frac{L_{N-PDU}}{n} \right\rceil = \left\lceil \frac{h + m}{n} \right\rceil = \left\lceil \frac{52 + 300}{88} \right\rceil = 4 \text{ DL-PDU}$$

- Poiché uno slot può trasportare un'intera DL-PDU, il numero di slot per trama N_{slot} necessari per trasportare una N-PDU al numero di DL-PDU (N_{DL-PDU}) in cui deve essere segmentata una N-PDU, quindi

$$N_{slot} = N_{DL-PDU} = 4$$

- La capacità di un singolo slot è data da

$$C_s = \frac{L_{slot}}{T_f} = \frac{140}{10} = 14 \text{ kbit / s}$$

- La capacità C richiesta per trasferire una N-PDU emessa a cadenza di trama sarà quindi

$$C = N \cdot C_s = 4 \cdot 14 = 56 \text{ kbit / s}$$



Esercizio 1 (4)

■ Efficienza di utilizzazione statica

- L'efficienza di utilizzazione statica (ρ) è data dal rapporto tra il numero di bit utili in una N-PDU e il numero complessivo di bit necessari per il suo trasferimento, quindi

$$\rho = \frac{m}{N_{slot} \cdot L_{slot}} = \frac{300}{4 \cdot 140} = 0.535$$



Esercizio 2 (1)

- In uno schema di multiplazione statistica si utilizzano Protocol Data Unit (PDU) di lunghezza costante costituite da $H=5$ byte di intestazione e $L=50$ byte di payload
- Si assuma che le Service Data Unit (SDU) che debbono essere trasferite abbiano lunghezza variabile X caratterizzata dalla distribuzione di probabilità riportata nella seguente tabella

Lunghezza di X		Probabilità	
X1	10 byte	P_{X1}	0.2
X2	40 byte	P_{X2}	0.1
X3	150 byte	P_{X3}	0.3
X4	340 byte	P_{X4}	0.4

- Si chiede di calcolare:
 - L'efficienza media (ρ_1) di trasferimento della SDU
 - L'efficienza (ρ_2) nel caso in cui il campo utile delle PDU possa assumersi di lunghezza variabile con dimensione massima $L_{\max}=L=50$ byte



Esercizio 2 (2)

- **Calcolo efficienza media (ρ_1) di trasferimento della SDU (payload di lunghezza costante)**
 - Per ogni possibile dimensione di SDU, occorre calcolare il numero di PDU necessarie al suo trasferimento

$$N_{iPDU} = \left\lceil \frac{X_i}{L} \right\rceil \quad i = 1, 2, 3, 4$$

- Dato che $L=50$ byte, si ha
 - $X_1=10$ byte $\rightarrow N_{1PDU} = 1$
 - $X_2=40$ byte $\rightarrow N_{2PDU} = 1$
 - $X_3=150$ byte $\rightarrow N_{3PDU} = 3$
 - $X_4=340$ byte $\rightarrow N_{4PDU} = 7$



Esercizio 2 (3)

- Poiché il payload ha dimensione fissa, per il calcolo dell'efficienza occorre tener conto dei bit di riempimento L_{istuf} , da inserire nell'ultima PDU in cui è frammentata la SDU, si ha

$$L_{istuf} = L - [X_i - (N_{iPDU} - 1)L] \quad i = 1, 2, 3, 4$$

- da cui

$$L_{1stuf} = 40 \text{ byte}; \quad L_{2stuf} = 10 \text{ byte}; \quad L_{3stuf} = 0 \text{ byte}; \quad L_{4stuf} = 10 \text{ byte}$$

- L'efficienza (ρ_1) è data dal rapporto tra il numero medio di bit utili da trasferire (X_{av}) e il numero medio di bit totali utilizzati ($L_{av,tot}$)

$$\rho_1 = \frac{X_{av}}{L_{av,tot}} = \frac{\sum_{i=1}^4 X_i \cdot P_{Xi}}{\sum_{i=1}^4 (H + L) \cdot N_{iPDU} \cdot P_{Xi}}$$

- da cui

$$\rho_1 = \frac{187}{220} = 0.85$$



Esercizio 2 (4)

- **Calcolo efficienza media (ρ_2) di trasferimento della SDU (payload di lunghezza variabile)**
 - In questo caso la lunghezza del payload va interpretata come lunghezza massima, quindi $L_{\max}=50$ byte
 - Il numero di PDU necessarie per il trasferimento delle SDU è lo stesso rispetto al caso precedente, ovvero
 - $X_1=10$ byte $\rightarrow N_{1PDU} = 1$
 - $X_2=40$ byte $\rightarrow N_{2PDU} = 1$
 - $X_3=150$ byte $\rightarrow N_{3PDU} = 3$
 - $X_4=340$ byte $\rightarrow N_{4PDU} = 7$
 - La dimensione del payload delle PDU $L_{i,PDU}$ è uguale a L_{\max} per le prime $(N_{iPDU}-1)$ PDU, mentre le ultime PDU avranno dimensione
$$L_{ilast} = X_i - (N_{iPDU} - 1)L \quad i = 1, 2, 3, 4$$
 - Ovviamente non saranno presenti i bit di riempimento nelle ultime PDU



Esercizio 2 (5)

■ da cui

$$L_{1last} = 10 \text{ byte}; \quad L_{2last} = 40 \text{ byte}; \quad L_{3last} = 50 \text{ byte}; \quad L_{4last} = 40 \text{ byte}$$

■ Analogamente al caso precedente. l'efficienza (ρ_2) è data dal rapporto tra il numero medio di bit utili da trasferire (X_{av}) e il numero medio di bit totali utilizzati ($L_{2av,tot}$)

$$\rho_2 = \frac{X_{av}}{L_{2av,tot}} = \frac{\sum_{i=1}^4 X_i \cdot P_{Xi}}{\sum_{i=1}^4 (H + L) \cdot (N_{iPDU} - 1) \cdot P_{Xi} + \sum_{i=1}^4 (H + L_{ilast}) \cdot P_{Xi}}$$

■ da cui

$$\rho_2 = \frac{187}{207} = 0.903$$



Esercizio 3 (1)

- Si considerino l'architettura protocollare mostrata in figura



- Siano:

- $L_{UDP_{max}} = 400$ bit la dimensione massima del campo informativo dei segmenti UDP e $H_{UDP}=20$ bit la dimensione dell'header
- $L_{IP_{max}} = 420$ bit la dimensione massima del campo informativo dei pacchetti IP e $H_{IP}=40$ bit la dimensione dell'header
- $L_2 = 250$ bit la dimensione costante del campo informativo delle PDU di strato 2 e $H_2=10$ bit la dimensione dell'header

- A livello 1 è usato una multiplazione TDM con $N_f=5$ slot organizzati in trame di durata $T_f=10$ ms

- Uno slot è in grado di trasferire per intero una PDU di strato 2
- Uno degli slot della trama è dedicato al trasferimento delle informazioni di segnalazione

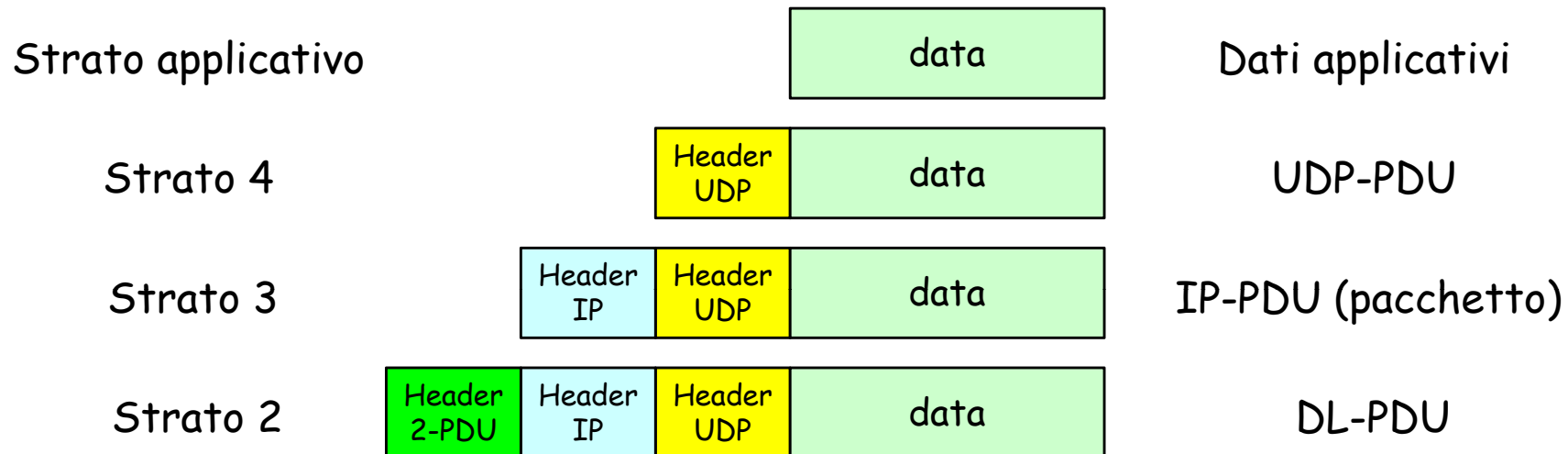
- Supponendo di voler trasferire un file applicativo di dimensione $M=3800$ bit si chiede di

- Rappresentare la struttura delle PDU necessarie per il trasferimento del file nei quattro strati protocollari
- Calcolare l'overhead complessivo (compreso quello di strato fisico) necessario per il trasferimento di tale file
- Calcolare il minimo tempo necessario a trasferire il file assumendo trascurabile il ritardo introdotto dalla rete a circuito
- Calcolare il bit rate di linea nello strato fisico



Esercizio 3 (2)

- **Struttura generale delle PDU nel caso di rapporto uno a uno tra PDU dello strato superiore e quello dello strato inferiore (assenza di frammentazione)**





Esercizio 3 (3)

- Per il trasferimento del file applicativo servono un numero totale di UDP-PDU ($N_{UDP-PDU}$) uguale a

$$N_{UDP-PDU} = \left\lceil \frac{M}{L_{UDPmax}} \right\rceil = \left\lceil \frac{3800}{400} \right\rceil = 10 \text{ UDP-PDU}$$

- Poiché le UDP-PDU possono essere di lunghezza variabile, $N_{UDP-PDU}-1$ avranno il campo informativo di lunghezza massima L_{UDP} , mentre l'ultima avrà il campo informativo di lunghezza $L_{UDPlast}$ dato da

$$L_{UDPlast} = M - \left(\left\lceil \frac{M}{L_{UDPmax}} \right\rceil - 1 \right) \cdot L_{UDPmax} = 200 \text{ bit}$$

- Il trasferimento del file M avverrà quindi utilizzando

- 9 UDP-PDU di lunghezza massima $L_{UDPtot} = H_{UDP} + L_{UDPmax} = 20 + 400 = 420 \text{ bit}$

- 1 UDP-PDU di lunghezza $H_{UDP} + L_{UDPlast} = 20 + 200 = 220 \text{ bit}$



Esercizio 3 (4)

- Le UDP-PDU costituiscono l'informazione utile da trasferire a livello IP, andranno quindi inserite nel campo informativo delle IP-PDU (pacchetti)
- Si noti che la lunghezza massima del campo informativo delle IP-PDU (L_{IPmax}) è uguale alla lunghezza totale massima delle UDP-PDU (L_{UDPtot}), ovvero

$$L_{IPmax} = L_{UDPtot}$$

- In questo caso ad una UDP-PDU corrisponde una singola IP-PDU e non è necessaria la segmentazione
- Si avranno quindi
 - 9 IP-PDU di lunghezza massima
 - 1 IP-PDU di lunghezza

$$L_{IPtot} = H_{IP} + L_{UDPtot} = 40 + 420 = 460 \text{ bit}$$

$$H_{IP} + L_{UDP_{last}} = 40 + 220 = 260 \text{ bit}$$



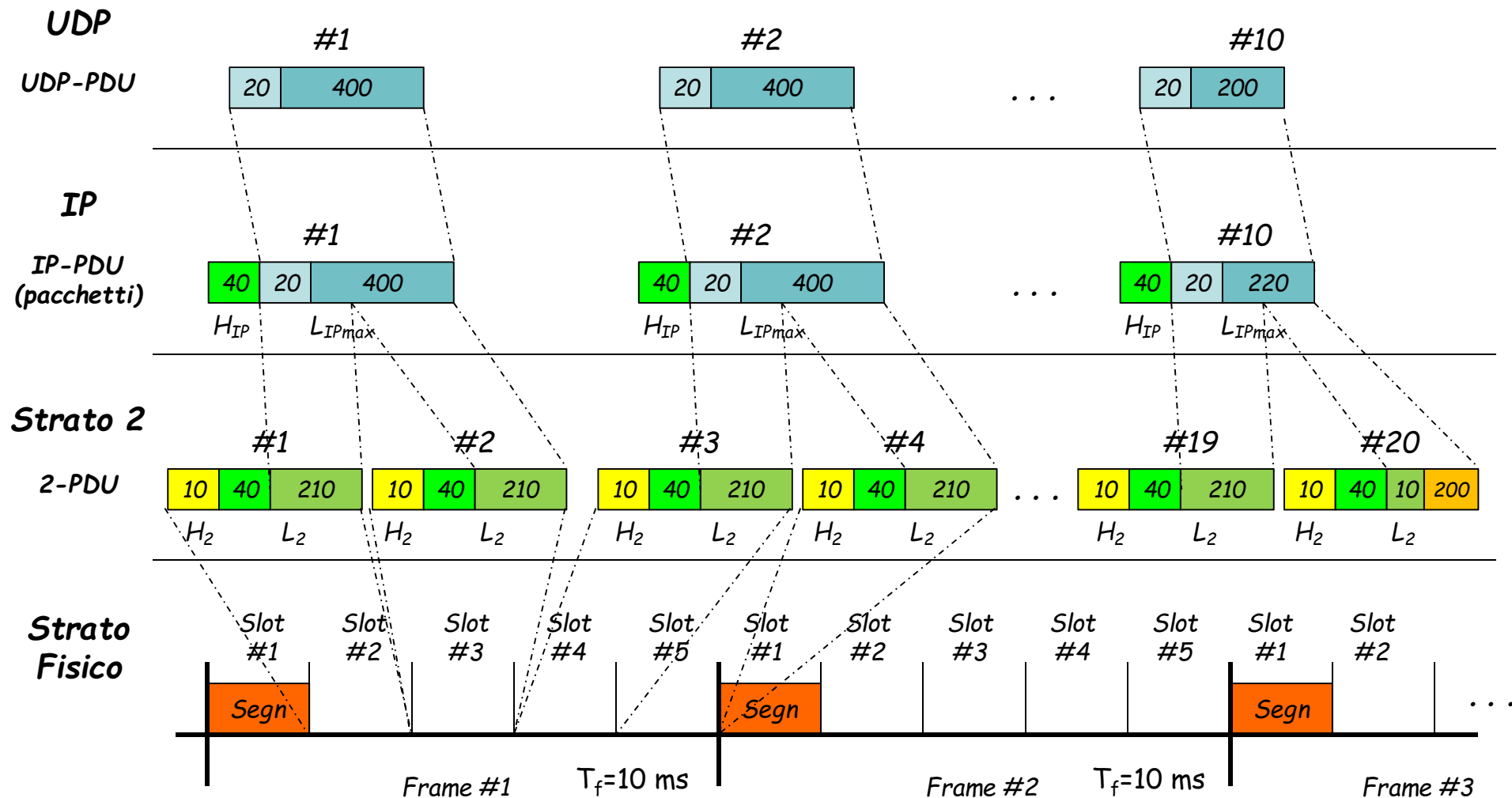
Esercizio 3 (5)

- **Nel passaggio dallo strato IP allo strato 2 è invece richiesta la frammentazione dei pacchetti IP**
 - Il campo informativo delle 2-PDU è di lunghezza costante $L_2=250$ bit, inferiore alla dimensione delle IP-PDU ($L_{IPtot}=460$ bit, o 260 nel caso dell'ultima IP-PDU)
- **Il processo di frammentazione di un pacchetto IP deve garantire che ogni frammento che si viene a formare sia un pacchetto autonomo ed indipendente**
- **Ogni frammento dovrà quindi trasportare al suo interno: a) l'intera header IP e b) 210 bit del pacchetto IP originario, quindi:**
 - Un singolo pacchetto IP sarà frammentato in due 2-PDU; ognuna di queste sarà costituita dalla propria intestazione di dimensione $H_2=10$ bit e da un campo informativo di lunghezza $L_2=250$ bit
 - Il campo informativo di una 2-PDU sarà riempito con $H_{IP}=40$ bit di header di un pacchetto IP e $L_{seg}=210$ bit informativi del pacchetto IP originario
- **Di conseguenza due 2-PDU possono trasportare tutti i 420 bit utili di un pacchetto IP originario**
- **Saranno necessarie quindi 20 2-PDU per trasferire i 10 pacchetti IP**
 - Le prime 19 2-PDU trasporteranno ciascuna 210 bit informativi
 - La ventesima 2-PDU avrà un campo informativo di lunghezza utile uguale a 50 bit accompagnato da 200 bit di riempimento (stuffing)



Esercizio 3 (6)

- Lo schema formazione delle PDU è il seguente





Esercizio 3 (7)

- Ogni slot della trama TDM è in grado di contenere per intero una 2-PDU
- Per il trasferimento del file, saranno quindi necessari 20 slot
- Poiché in ogni trama sono disponibili 4 slot utili (uno degli slot è riservato alla segnalazione), per il trasferimento dell'intero file sono complessivamente necessarie 5 trame



Esercizio 3 (8)

■ Calcolo dell'overhead di trasferimento del file

- L'overhead è definito come la percentuale di bit di controllo da aggiungere ai dati applicativi per la formazione delle PDU di tutti gli strati
- Dalla figura precedente si ricava che i bit di overhead introdotti da ogni strato fino allo strato 2 è dato da:

- Bit di overhead di strato UDP (X_{UDP}):
$$X_{UDP} = 10 \cdot H_{UDP} = 200 \text{ bit}$$

- Bit di overhead di strato IP (X_{IP}) (compresi i bit di header aggiunti per la segmentazione):

$$X_{IP} = 20 \cdot H_{IP} = 800 \text{ bit}$$

- Bit di overhead di strato 2 (X_2):

$$X_2 = 20 \cdot H_2 + X_{stuf} = 200 + 200 = 400 \text{ bit}$$

- Bit di overhead di strato fisico (X_F):

$$X_F = 5 \cdot X_{sig} = 5 \cdot 260 = 1300 \text{ bit}$$



Esercizio 3 (9)

- I bit totali di overhead (X_{tot}) sono quindi

$$X_{tot} = X_{UDP} + X_{IP} + X_2 + X_F = 200 + 800 + 400 + 1300 = 2700 \text{ bit}$$

- Il numero di bit totali trasferiti (B_{tot}) sono invece

$$B_{tot} = X_{tot} + M = 2700 + 3800 = 6500 \text{ bit}$$

- L'overhead percentuale (OH) è quindi è quindi

$$OH = \frac{X_{tot}}{B_{tot}} = \frac{2700}{6500} = 0.415$$

- L'efficienza (ρ) di conseguenza è

$$\rho = 1 - OH = 1 - 0.415 = 0.585$$



Esercizio 3 (10)

■ Ritardo di trasferimento

- Il tempo di trasferimento del file (T_{trasm}) è dato dal tempo necessario ad emettere cinque trame consecutive
- Poiché una trama ha durata $T_f=10$ ms e il numero di frame necessario al trasferimento del file è uguale a

$$T_{trasm} = 5 \cdot T_f = 50 \text{ ms}$$

■ Bit rate di trasferimento

- Il bit rate R dello strato fisico è dato da

$$R = \frac{L_f}{T_f} = \frac{260 \cdot 5 \cdot 8}{10} = 1.04 \text{ Mbit / s}$$



Esercizio 4 (homework)

- Ripetere l'esercizio precedente (esercizio 3) in cui però la lunghezza massima del campo informativo dei pacchetti IP sia $L_{IPmax}=400$ bit mantenendo la dimensione dell'header $H_{IP}=40$ bit