

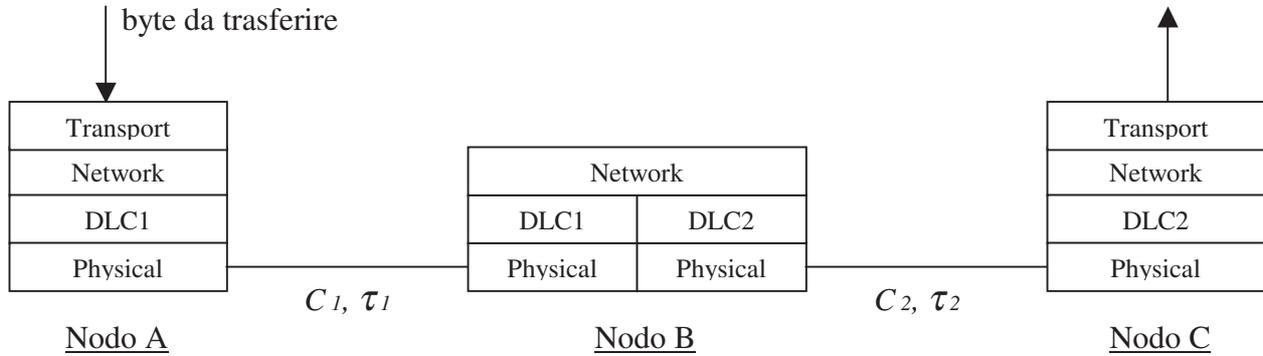
*UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BERGAMO*  
*Dipartimento di Ingegneria*

# **PRESTAZIONI DELLE RETI DI TLC**

*FONDAMENTI DI RETI E TELECOMUNICAZIONE*  
*A.A. 2012/13 - II° Semestre*

# Esercizio 1 (Appello del 27/09/2002)

Sia data la rete indicata in figura (il sistema è privo di errori) dove il nodo B commuta i pacchetti in modalità *store-and-forward* con  $\tau_{forwarding} = 0$ .

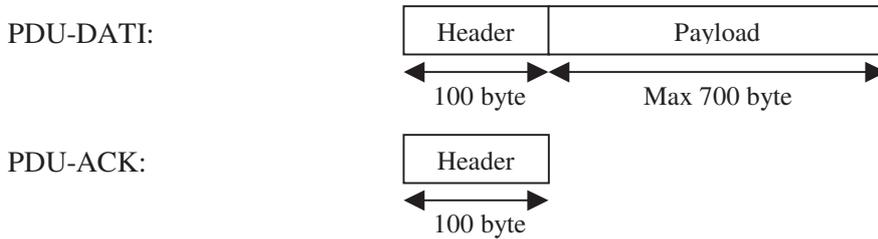


Caratteristiche dei canali di trasmissione (entrambi *full-duplex*):

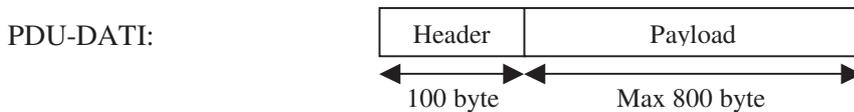
$C_1 = 16000 \text{ bps}$        $\tau_1 = 75 \text{ ms}$   
 $C_2 = \text{da determinare}$        $\tau_2 = 200 \text{ ms}$

Caratteristiche dei protocolli di comunicazione:

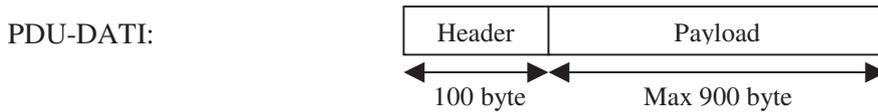
Il livello **Transport** utilizza un protocollo confermato di tipo *Stop-and-Wait*:



Il livello **Network** utilizza un protocollo non confermato:



I livelli **DLC1** e **DLC2** utilizzano un protocollo non confermato



**Domande:**

(Disegnare gli schemi temporali di trasferimento dei messaggi giustificando sempre ogni espressione analitica riportata)

1. Calcolare il bit-rate  $C_2$  affinché la capacità del sistema ( $C_{SISTEMA}$ ) sperimentata al di sopra del livello *Transport* sia pari a 280 Byte/s.

2. Utilizzando il valore  $C_2$  calcolato al punto 1, supponendo che la dimensione massima del Payload di DLC1 sia pari a 500 byte anziché 900 byte e sapendo che il protocollo di livello Network supporta la frammentazione, calcolare la capacità del sistema ( $C_{SISTEMA}$ ) sperimentata al di sopra del livello Transport.
3. (Facoltativa) Quali considerazioni si possono fare sul risultato ottenuto al punto 2, alla luce del fatto che la frammentazione comunque introduce un innalzamento degli overhead di incapsulamento ?

- . - . -

## Soluzione

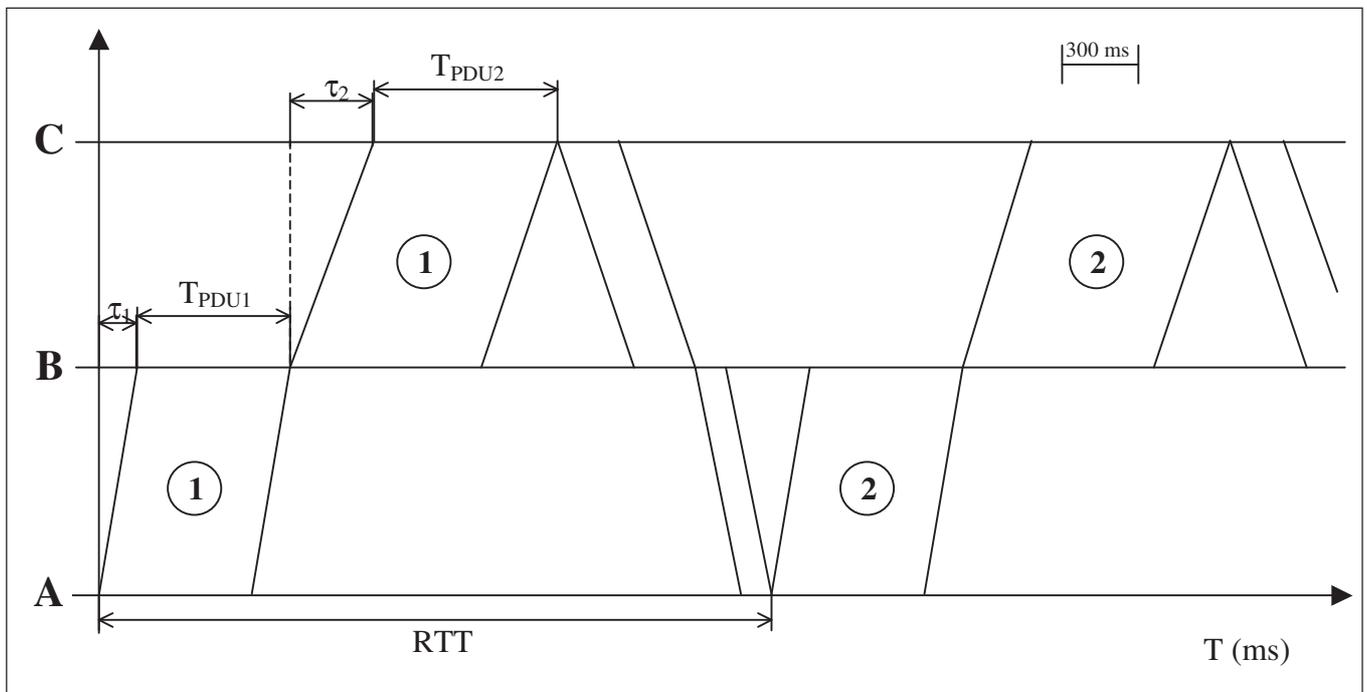
$$C_1 = 16000 \text{ bps} = 2000 \text{ Byte/s}$$

$$\tau_1 = 75 \text{ ms} = 0,075 \text{ s}$$

$$C_2 = \text{da determinare}$$

$$\tau_2 = 200 \text{ ms} = 0,2 \text{ s}$$

### 1° punto



$$T_{PDU1} = \frac{\text{Payload}_{DLC1} + H_{DLC1}}{C_1} = \frac{900+100}{2000} = 0,5s \quad \text{Tempo per il trasferimento di una PDU sul canale 1}$$

$$T_{PDU2} = \frac{\text{Payload}_{DLC2} + H_{DLC2}}{C_2} = \frac{900+100}{C_2} \quad \text{Tempo per il trasferimento di una PDU sul canale 2}$$

$$T_{ACK1} = \frac{H_{ACK}}{C_1} = \frac{300}{2000} = 0,15s \quad \text{Tempo per il trasferimento di un'ACK sul canale 1}$$

$$T_{ACK2} = \frac{H_{ACK}}{C_2} = \frac{300}{C_2}$$

Tempo per il trasferimento di un'ACK sul canale 2

$$RTT = \tau_1 + T_{PDU1} + \tau_2 + T_{PDU2} + T_{ACK2} + \tau_2 + T_{ACK1} + \tau_1 =$$

$$= 0,075 + 0,5 + 0,2 + \frac{1000}{C_2} + \frac{300}{C_2} + 0,2 + 0,15 + 0,075 = 1,2 + \frac{1300}{C_2}$$

Sapendo che la capacità del sistema misurata è pari a 280 Byte/s, è possibile quindi calcolare la capacità del secondo canale:

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{TR}}{RTT} = \frac{700}{1,2 + \frac{1300}{C_2}}$$

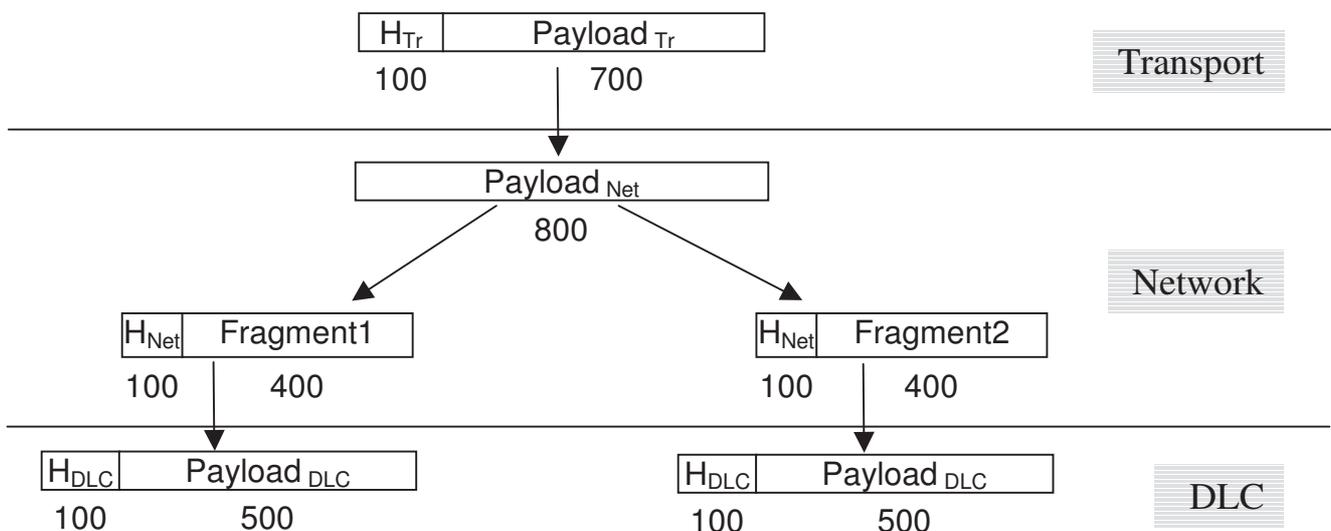
Sostituendo nella formula o riscrivendo il tutto in funzione di  $C_2$  si ottiene infatti:

$$280 \text{ Byte/s} = \frac{700}{1,2 + \frac{1300}{C_2}}$$

$$C_2 = 1000 \text{ Byte/s} \quad \text{Bit-rate del canale 1}$$

## 2° punto

Il livello Network deve eseguire la frammentazione nei confronti del DLC1, e quindi anche del DLC2, secondo il seguente schema:



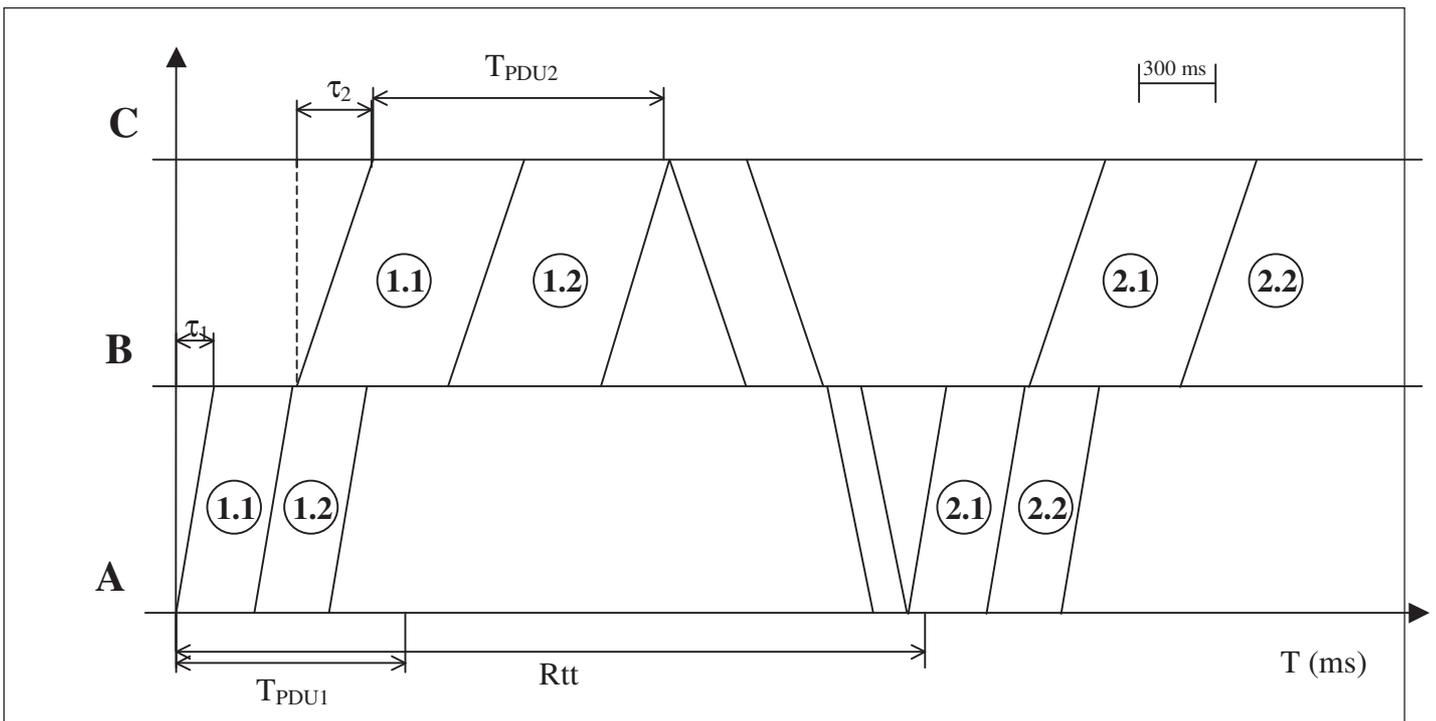
$$T_{Fram1} = \frac{Payload_{fram} + H_{DLC1}}{C_1} = \frac{500 + 100}{2000} = 0,3s \quad \text{Tempo per il trasferimento di un frammento sul canale 1}$$

$$T_{Fram2} = \frac{Payload_{fram} + H_{DLC2}}{C_2} = \frac{500 + 100}{1000} = 0,6s \quad \text{Tempo per il trasferimento di un frammento sul canale 2}$$

$$T_{ACK1} = \frac{H_{ACK}}{C_1} = \frac{300}{2000} = 0,15s \quad \text{Tempo per il trasferimento di un'ACK sul canale 1}$$

$$T_{ACK2} = \frac{H_{ACK}}{C_2} = \frac{300}{1000} = 0,3s \quad \text{Tempo per il trasferimento di un'ACK sul canale 2}$$

Anche in questo caso il grafico temporale è fondamentale per trovare il RTT e, di conseguenza, la C del sistema



$$RTT = \tau_1 + T_{Fram1} + \tau_2 + 2 \cdot T_{Fram2} + T_{ACK2} + \tau_2 + T_{ACK1} + \tau_1 = 0,075 + 0,3 + 0,2 + 2 \cdot 0,6 + 0,3 + 0,2 + 0,15 + 0,075 = 2,5s$$

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{Tr}}{RTT} = \frac{700}{2,5} = 280 \text{ Byte/s}$$

### 3° punto

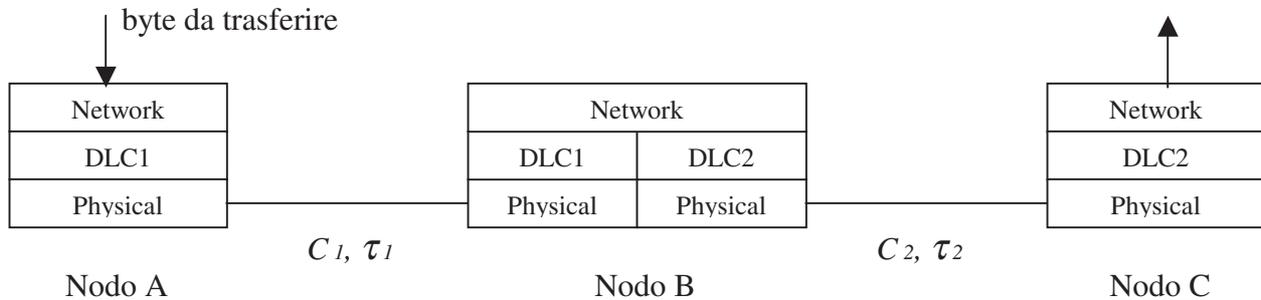
La frammentazione introduce un overhead di incapsulamento in quanto vengono aggiunti alcuni byte nelle testate dei frammenti. Infatti, per trasferire la stessa payload (700 Byte), utilizzo più byte (200 Byte anziché 100) nel secondo punto rispetto al primo.

Nonostante ciò, si può osservare che la frammentazione non comporta in questo caso alcun aumento/diminuzione della capacità del sistema.

Difatti, dai grafici si nota che il trasferimento del primo pacchetto sul secondo canale nel secondo punto, avviene prima rispetto al trasferimento dell'intera PDU-DATI nel primo esercizio poiché la capacità del secondo canale è inferiore alla capacità del primo.

## Esercizio 2 (1° Itinere del 29/04/2003)

Sia data la rete indicata in figura (il sistema è privo di errori) dove il nodo B commuta i pacchetti in un tempo trascurabile con modalità *store-and-forward*. Tutti i nodi dispongono di buffer di dimensione infinita.



Caratteristiche dei canali di trasmissione (entrambi *full-duplex*):

$$C_1 = 16.000 \text{ bps} \quad \tau_1 = 50 \text{ ms}$$

$$C_2 = 32.000 \text{ bps} \quad \tau_2 = 100 \text{ ms}$$

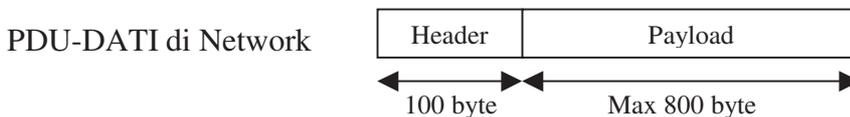
### Caratteristiche dei protocolli di comunicazione:

#### Livelli DLC1 e DLC2

Sono specificati più avanti nella sezione **Domande**

#### Livello Network

Utilizza un protocollo non confermato con possibilità, quando necessario, di frammentazione.

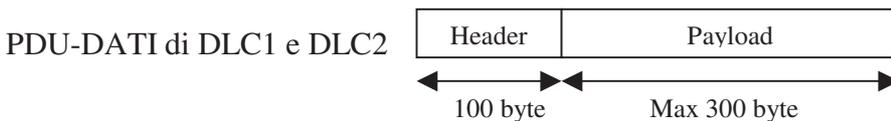


### DOMANDE:

Calcolare la capacità del sistema  $C_{sistema}$  sperimentata al di sopra del livello *Network* (quando è in corso un trasferimento di byte dal nodo A al nodo C) in ciascuno dei 4 casi indicati qui sotto:

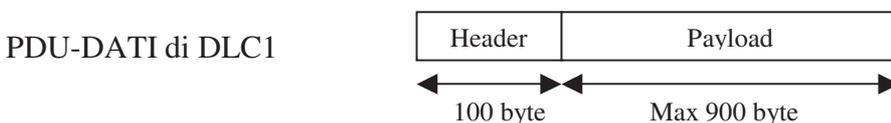
#### 1° Caso:

DLC1 è uguale a DLC2 e viene utilizzato un protocollo non confermato

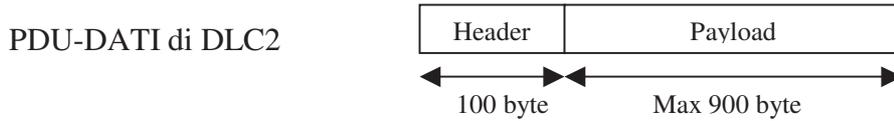


#### 2° Caso:

DLC1 utilizza un protocollo non confermato



DLC2 utilizza un protocollo confermato *Stop-and-Wait*

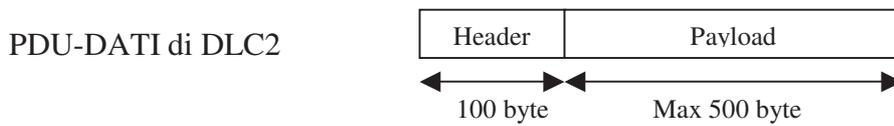


PDU-ACK di DLC2: è costituita dalla sola *header* di 100 byte

### 3° Caso:

DLC1: come il caso 2

DLC2 utilizza un protocollo confermato *Stop-and-Wait*

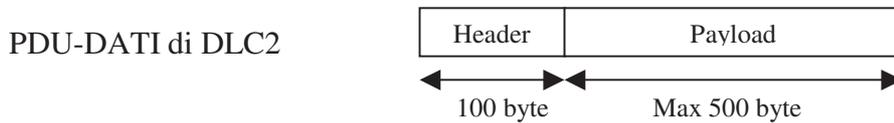


PDU-ACK di DLC2: è costituita dalla sola *header* di 100 byte

### 4° Caso:

DLC1: come il caso 3

DLC2 utilizza un protocollo confermato *Go-Back-n* con  $n=2$  (come al solito ipotizzare che l'entità ricevente generi una PDU-ACK per ogni PDU-DATI corretta ricevuta)



PDU-ACK di DLC2: è costituita dalla sola *header* di 100 byte

— . — . —

## Soluzione

$$C_1 = 16000 \text{ bps} = 2000 \text{ Byte/s}$$

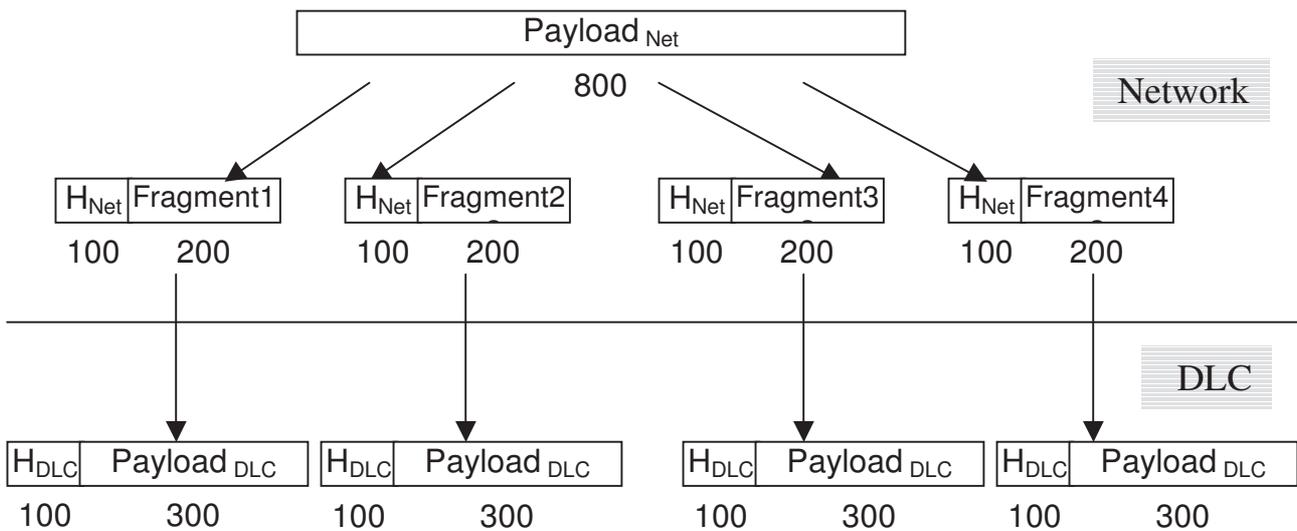
$$\tau_1 = 50 \text{ ms} = 0,05 \text{ s}$$

$$C_2 = 32000 \text{ bps} = 4000 \text{ Byte/s}$$

$$\tau_2 = 100 \text{ ms} = 0,1 \text{ s}$$

### 1° Caso

Il livello Network deve eseguire la frammentazione nei confronti del DLC1 e del DLC2, secondo il seguente schema:



$$T_{FRAMM1} = \frac{Payload_{DLC1} + H_{DLC1}}{C_1} = \frac{300 + 100}{2000} = 0,2s$$

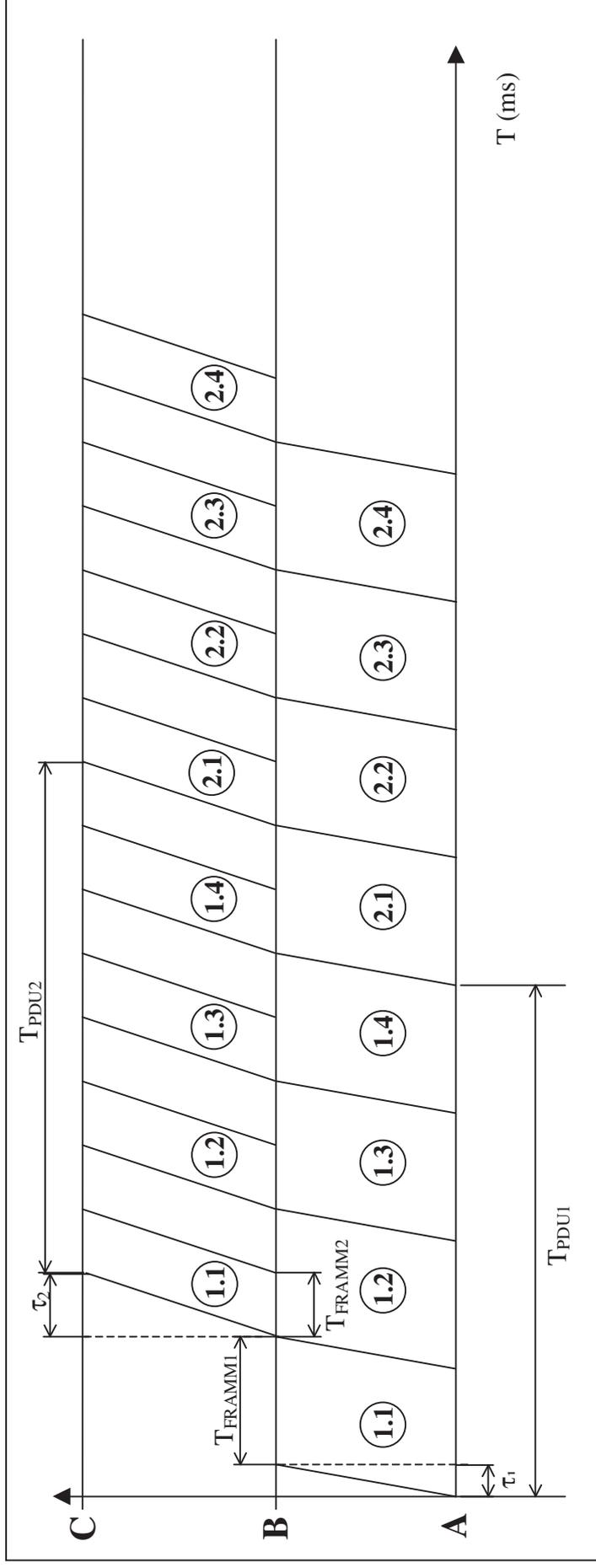
$$T_{FRAMM2} = \frac{Payload_{DLC2} + H_{DLC2}}{C_2} = \frac{300 + 100}{4000} = 0,1s$$

$$T_{PDU1} = T_{FRAMM1} \cdot 4 = 0,2 \cdot 4 = 0,8s$$

Il secondo canale sarebbe più veloce del primo ma si deve adeguare a quest'ultimo attendendo l'arrivo di ogni singolo frammento (vedi schema temporale); pertanto

$$T_{PDU2} = T_{PDU1}$$

↔ 50 ms



Ricordiamo che la capacità di sistema corrisponde alla capacità relativa al canale strozzante; il canale strozzante è quello con capacità inferiore ossia con T di trasmissione maggiore.  
 Nel nostro caso, vista la presenza di frammenti, è necessario confrontare il loro tempo di trasmissione: il canale strozzante risulta essere il primo, visto che  $T_{framm1} > T_{framm2}$  (vedi schema temporale).  
 La capacità di sistema verrà quindi calcolata in rapporto al  $T_{PDU1}$ .

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{Net}}{T_{PDU1}} = \frac{800}{0,8} = 1000 \text{ Byte/s}$$

## 2° Casa

In questa situazione non è necessario frammentare a livello Network perché il  $\text{Payload}_{\text{Net}} + H_{\text{Net}}$  possono essere contenuti nel  $\text{Payload}_{\text{DLC1}}$ .

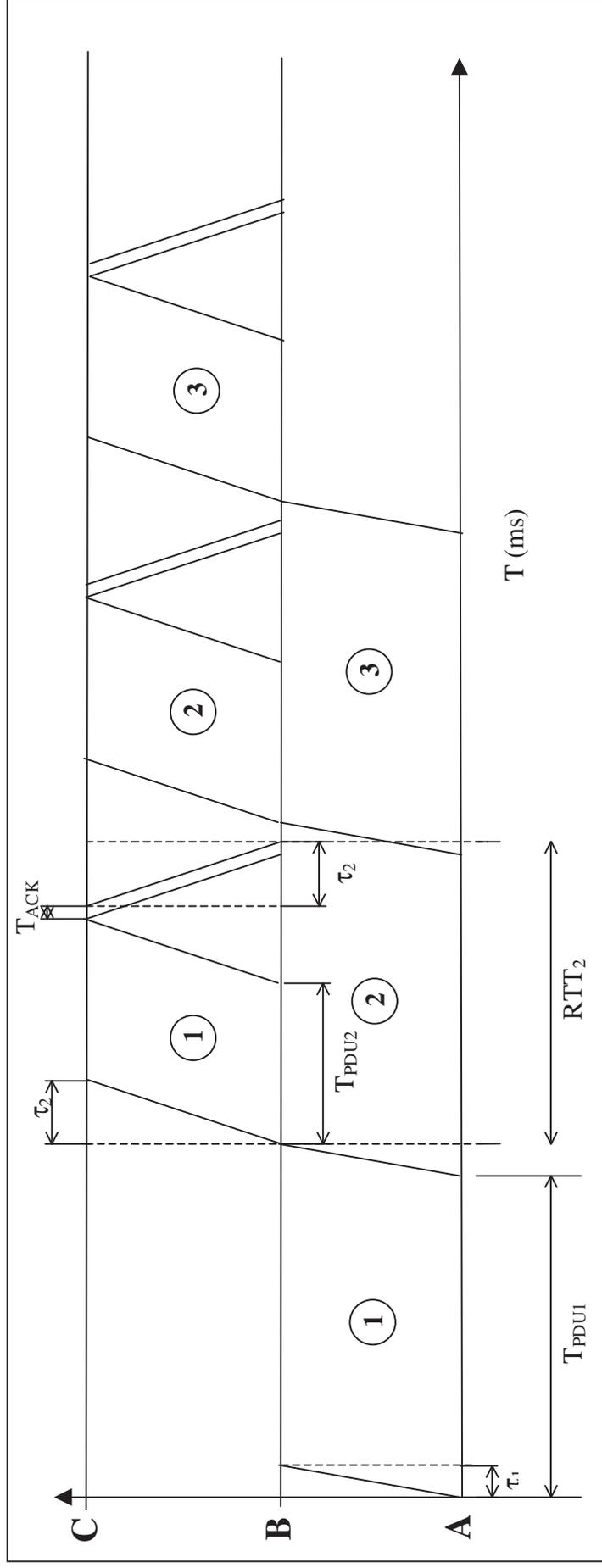
$$T_{PDU1} = \frac{\text{Payload}_{\text{DLC1}} + H_{\text{DLC1}}}{C_1} = \frac{900 + 100}{2000} = 0,5s$$

$$T_{ACK} = \frac{Ack}{C_2} = \frac{100}{4000} = 0,025s$$

$$T_{PDU2} = \frac{\text{Payload}_{\text{DLC2}} + H_{\text{DLC2}}}{C_2} = \frac{900 + 100}{4000} = 0,25s$$

$$RTT_2 = 2\tau_2 + T_{PDU2} + T_{ACK} = 2 \cdot 0,1 + 0,25 + 0,025 = 0,475s$$

↔ 50 ms



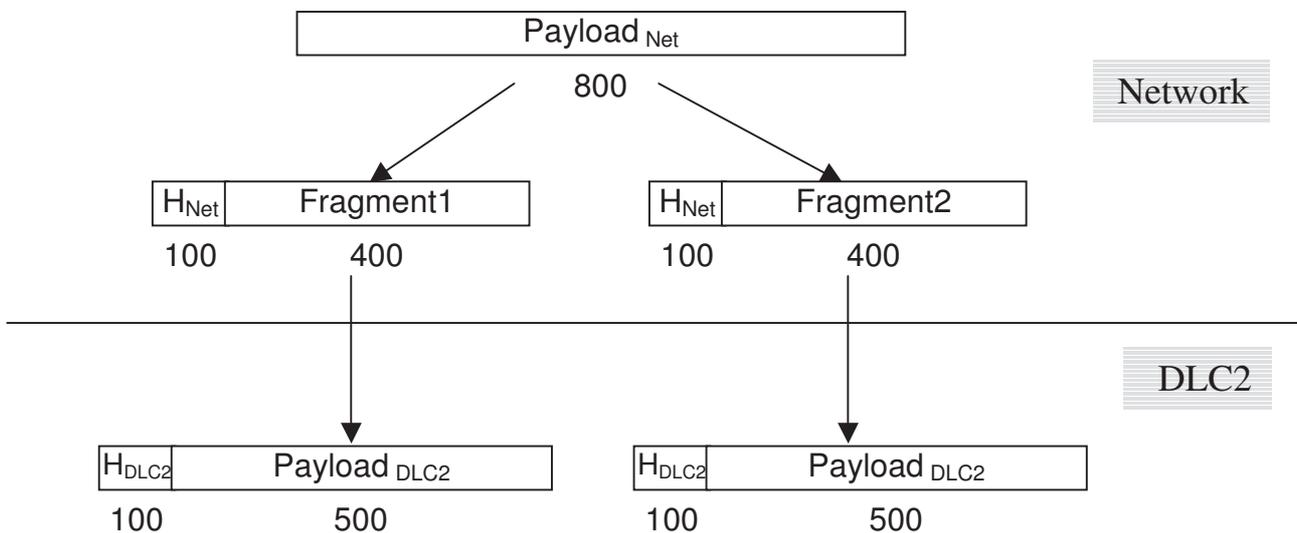
A differenza del 1° Caso, per sapere quale dei due canali è strozzante, occorre fare un confronto tra  $T_{PDU1}$  e  $RTT_2$  (non più tra  $T_{PDU1}$  e  $T_{PDU2}$ ). Nel nostro caso il canale strozzante è quello tra i nodi A e B in quanto  $T_{PDU1} > RTT_2$  (vedi schema temporale).

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{Net}}{T_{PDU1}} = \frac{800}{0,5} = 1600 \text{ Byte/s}$$

### 3° Caso

In questa situazione non è necessario frammentare a livello Network dal nodo A al nodo B perché il  $Payload_{Net} + H_{Net}$  possono essere contenuti nel  $Payload_{DLC1}$  mentre è necessario frammentare a livello Network dal nodo B al nodo C.

Il livello Network deve eseguire la frammentazione nei confronti del DLC2, secondo il seguente schema:



$$T_{PDU1} = \frac{Payload_{DLC1} + H_{DLC1}}{C_1} = \frac{900 + 100}{2000} = 0,5s$$

$$T_{FRAMM2} = \frac{Payload_{DLC2} + H_{DLC2}}{C_2} = \frac{500 + 100}{4000} = 0,15s$$

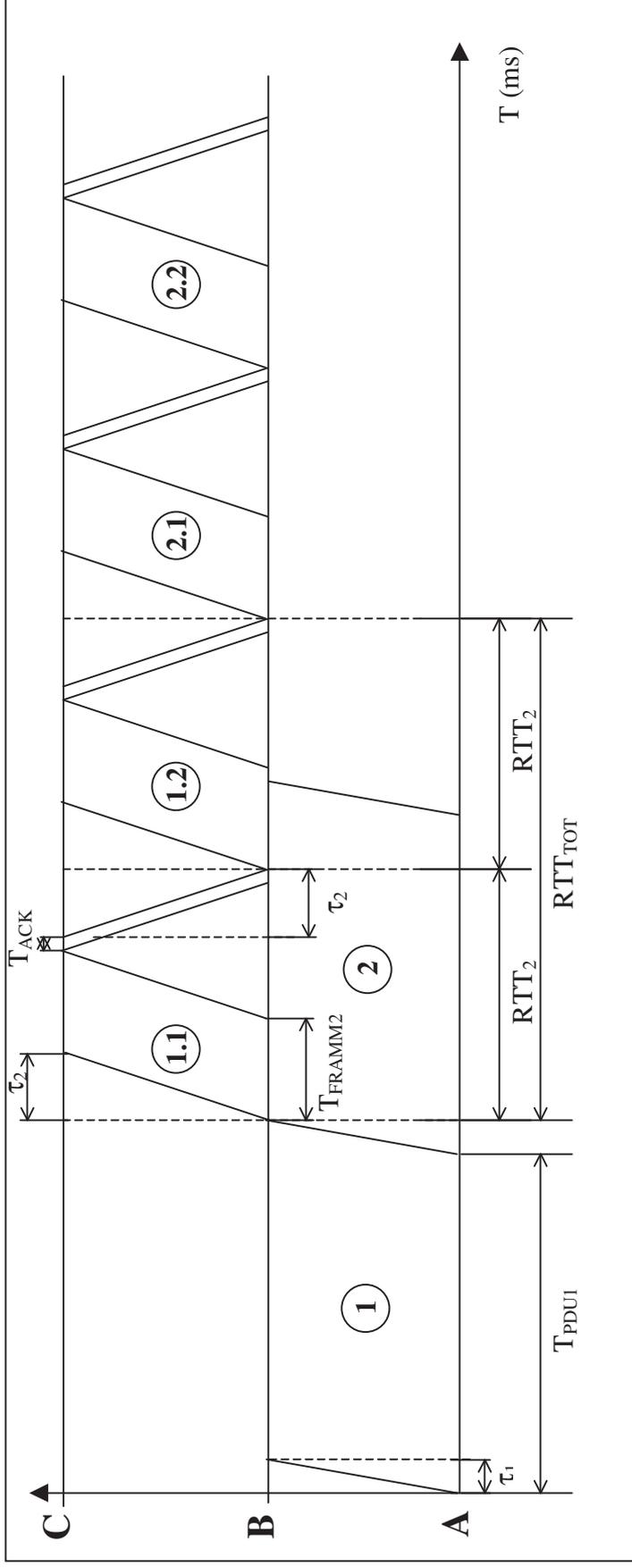
$$T_{ACK} = \frac{Ack}{C_2} = \frac{100}{4000} = 0,025s$$

$$RTT_2 = 2\tau_2 + T_{FRAMM2} + T_{ACK} = 2 \cdot 0,1 + 0,15 + 0,025 = 0,375s$$

$$RTT_{TOT} = 2 \cdot RTT_2 = 0,375 \cdot 2 = 0,75s$$

Per sapere quale dei due canali è strozzante occorre confrontare  $T_{PDU1}$  e  $RTT_{TOT}$ . In questo caso il canale strozzante è quello tra i nodi B e C in quanto  $T_{PDU1} < RTT_{TOT}$  (vedi schema temporale).

↔ 50 ms



La capacità del sistema dipenderà perciò da  $RTT_{TOT}$  riferito al canale B-C.

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{Net}}{RTT_{TOT}} = \frac{800}{0,75} = 1066,66 \text{ Byte/s}$$

#### 4° Caso

In questo caso è necessaria una frammentazione che è la stessa del 3° caso (vedi grafico precedente).

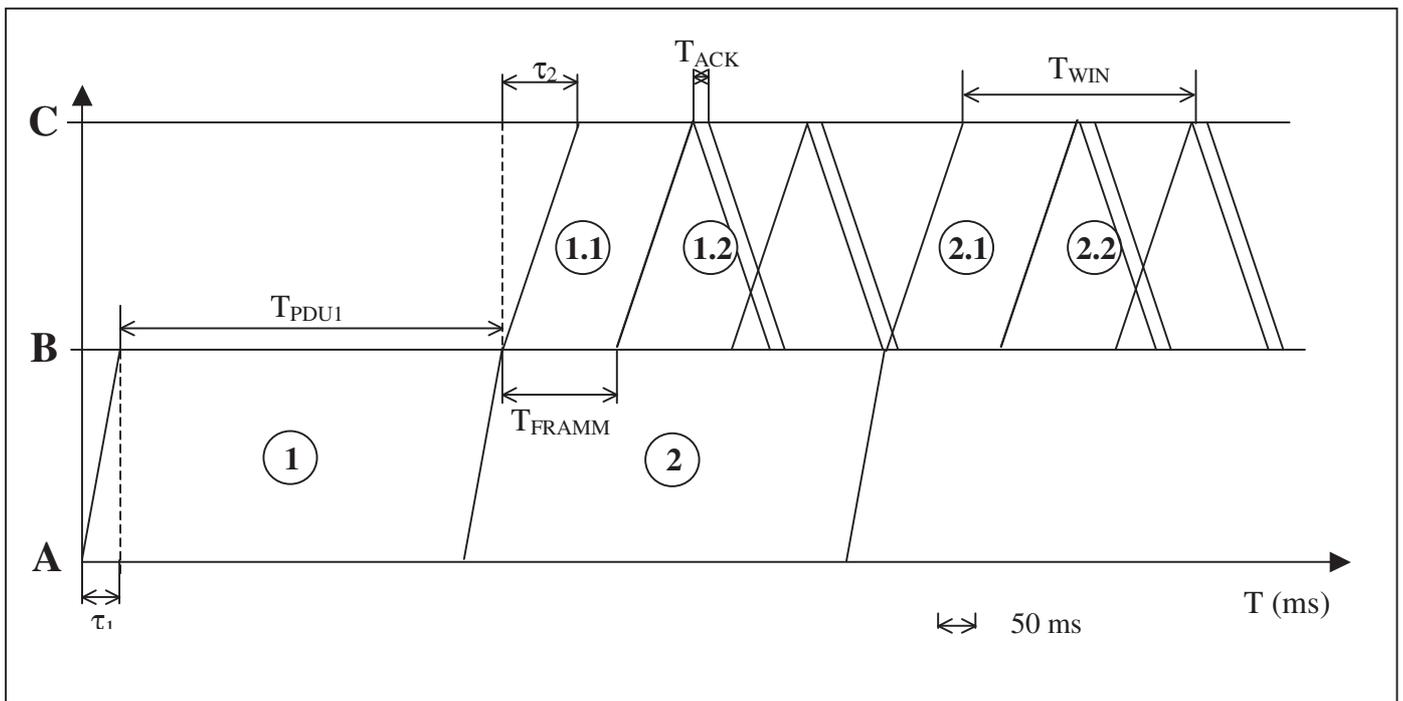
$$T_{PDU1} = \frac{Payload_{DLC1} + H_{DLC1}}{C_1} = \frac{900 + 100}{2000} = 0,5s$$

$$T_{ACK} = \frac{Ack}{C_2} = \frac{100}{4000} = 0,025s$$

$$T_{FRAMM2} = \frac{Payload_{DLC2} + H_{DLC2}}{C_2} = \frac{500 + 100}{4000} = 0,15s$$

$$RTT_2 = 2\tau_2 + T_{FRAMM2} + T_{ACK} = 2 \cdot 0,1 + 0,15 + 0,025 = 0,375s$$

$$T_{WIN} = 2 \cdot T_{FRAMM2} = 2 \cdot 0,15 = 0,3s$$

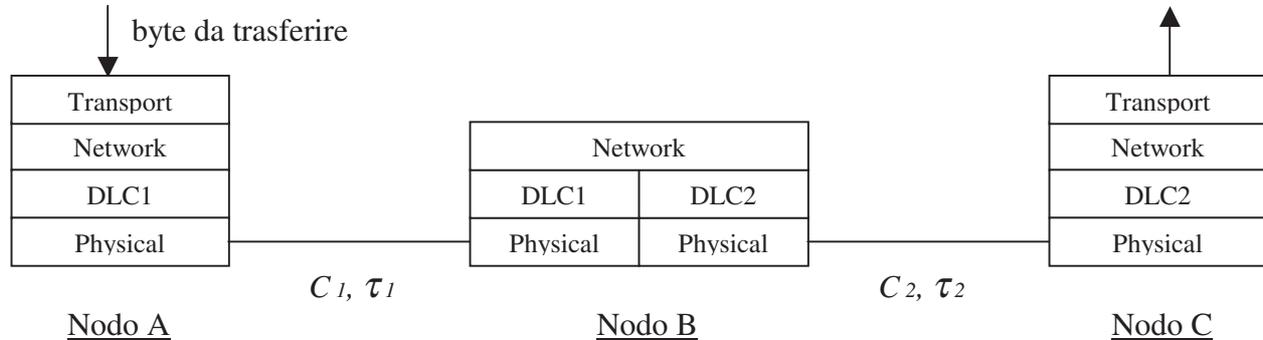


Come si vede dal grafico temporale, i frammenti della seconda PDU non possono partire immediatamente una volta ricevuto l'ACK ma devono attendere che sia stata ricevuta l'intera PDU. Il canale strozzante è quindi il primo, e si ha che:

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{Net}}{T_{PDU1}} = \frac{800}{0,5} = 1600 \text{ Byte/s}$$

### Esercizio 3 (1° Itinere del 29/04/2003)

Sia data la rete indicata in figura (il sistema è privo di errori) dove il nodo B commuta i pacchetti in un tempo trascurabile con modalità *store-and-forward*. Tutti i nodi dispongono di buffer di dimensione infinita.



Caratteristiche dei canali di trasmissione (entrambi *full-duplex*):

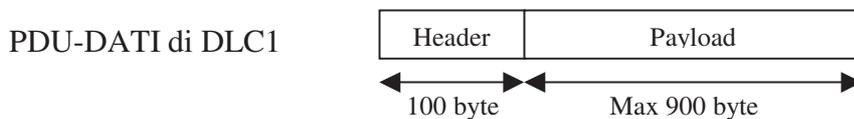
$$C_1 = 64.000 \text{ bps} \quad \tau_1 = 50 \text{ ms}$$

$$C_2 = 16.000 \text{ bps} \quad \tau_2 = 100 \text{ ms}$$

#### Caratteristiche dei protocolli di comunicazione:

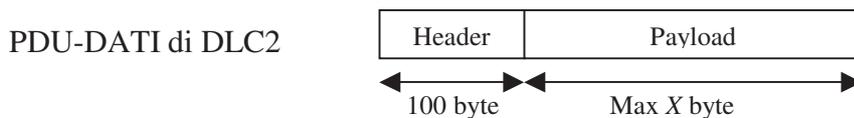
##### Livello DLC1

Utilizza un protocollo non confermato:



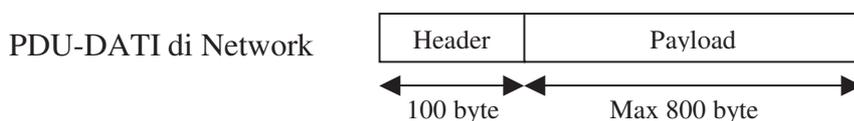
##### Livello DLC2

Utilizza un protocollo non confermato:



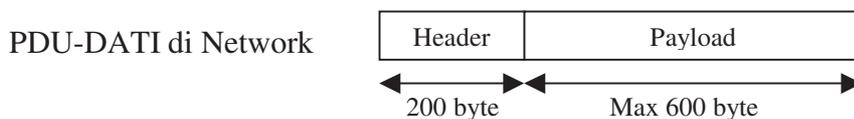
##### Livello Network

Utilizza un protocollo non confermato con possibilità, quando necessario, di frammentazione.



##### Livello Transport

Utilizza un protocollo non confermato:



## DOMANDA:

Determinare la dimensione massima  $X$  del *Payload* di DLC2 affinché la capacità del sistema sperimentata al di sopra del livello *Transport* (quando è in corso un trasferimento di byte dal nodo A al nodo C) sia  $C_{sistema}=750 \text{ byte/s}$ .

— . — . —

## Soluzione

$$C_1 = 64000 \text{ bps} = 8000 \text{ Byte/s}$$

$$\tau_1 = 50 \text{ ms} = 0,05 \text{ s}$$

$$C_2 = 16000 \text{ bps} = 2000 \text{ Byte/s}$$

$$\tau_2 = 100 \text{ ms} = 0,1 \text{ s}$$

$$C_{sistema}=750 \text{ Byte/s (imposto)}$$

$$T_{PDU1} = \frac{\text{Payload}_{DLC1} + H_{DLC1}}{C_1} = \frac{1000}{8000} = 0,125 \text{ s}$$

$$C_{sistema} = \frac{\text{Payload}_{Tr}}{T_{strozzante}} \longrightarrow \frac{600}{T_{strozzante}} = 750 \longrightarrow T_{strozzante} = \frac{600}{750} \longrightarrow T_{strozzante} = 0,8 \text{ s}$$

Il tempo di trasferimento di una PDU sull'ipotetico canale strozzante, in modo che  $C_{sistema}=750 \text{ Byte/s}$ , deve essere di 0,8s.

Se  $\alpha$  = Byte da trasferire dal nodo B al nodo C in 0,8s:

$$\frac{\alpha}{C_2} = 0,8 \quad \frac{\alpha}{2000} = 0,8 \quad \alpha = 1600 \text{ Byte}$$

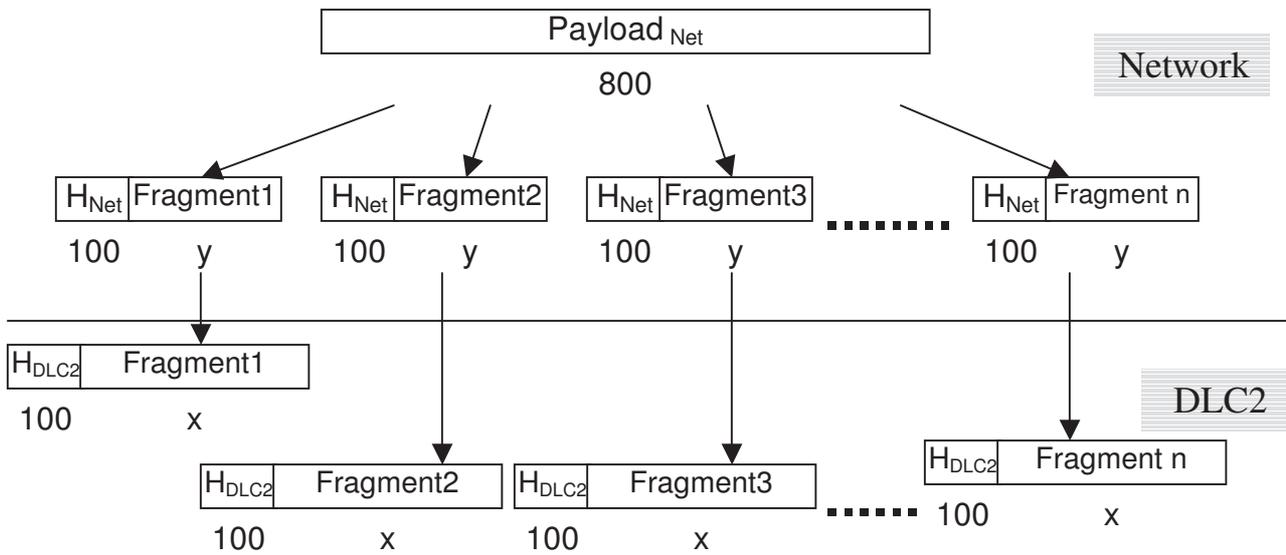
Per soddisfare il valore del  $T_{strozzante}$  trovato prima, la quantità di dati da trasferire è di 1600 Byte. Ipotizziamo di avere da parte del DLC2 una disponibilità di 1500 Byte del Payload + 100 Byte di Header. Il Payload<sub>DLC2</sub> non verrà mai riempito completamente, dato che dal Network arrivano solo 900 Byte. Si arriverebbe ad avere a livello DLC2 un pacchetto di 1000 Byte complessivi ( $H_{NET} + \text{Payload}_{NET} + H_{DLC2}$ ), ma non di 1600 Byte.

Si rende necessario quindi il processo di frammentazione: il livello Network frammenta secondo il seguente schema:

$n$  = numero frammenti

$y$  = dimensione Payload del frammento a livello Network

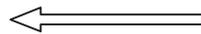
$x$  = dimensione Payload del frammento a livello DLC2



Bisogna fare in modo che la somma di frammenti a livello DLC2 e delle rispettive Header sia di 1600 Byte.

Ora troviamo n:

$$\left[ \left( \frac{Payload_{NET}}{n} + H_{NET} \right) + H_{DLC2} \right] = \frac{\alpha}{n}$$



$$(x+100) = \frac{\alpha}{n}$$

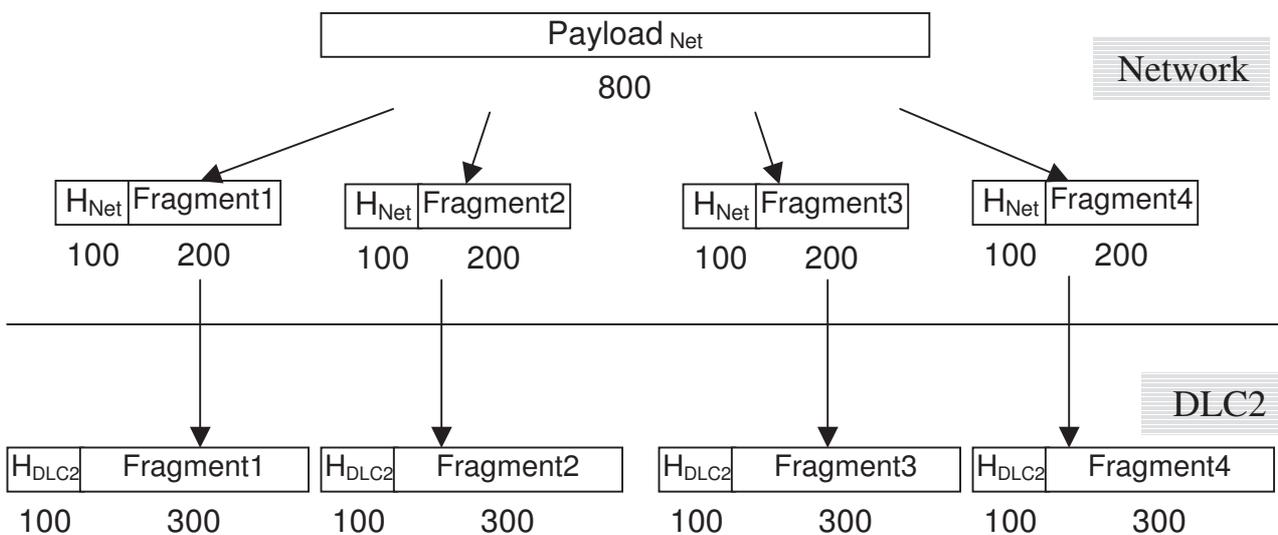
$$[(y+100)+100] = \frac{\alpha}{n}$$

$$\left[ \left( \frac{800}{n} + 100 \right) + 100 \right] = \frac{1600}{n}$$

$$\left[ \frac{800 + 200 \cdot n}{n} \right] = \frac{1600}{n}$$

$$200 \cdot n = 800 \longrightarrow n = 4$$

I frammenti dovranno essere 4.



A questo punto è semplice calcolare le dimensioni di ogni frammento:

$$y = \frac{800}{n} = \frac{800}{4} = 200 \text{ Byte}$$

$$x = y + 100 = 200 + 100 = 300 \text{ Byte}$$

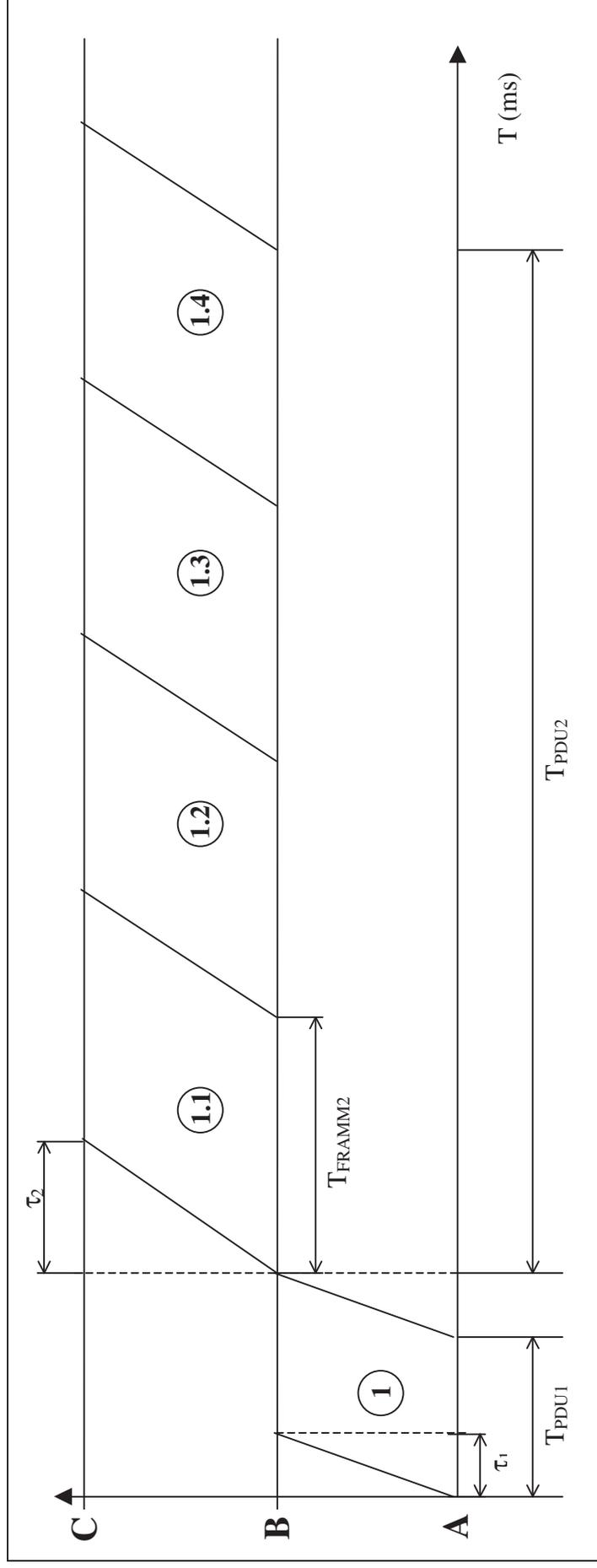
Il Payload<sub>DLC2</sub> avrà quindi una dimensione di 300 Byte.

Calcoliamo ora i tempi di trasferimento sul canale B-C:

$$T_{FRAMM2} = \frac{\text{Payload}_{DLC2} + H_{DLC2}}{C_2} = \frac{300 + 100}{2000} = 0,2 \text{ s}$$

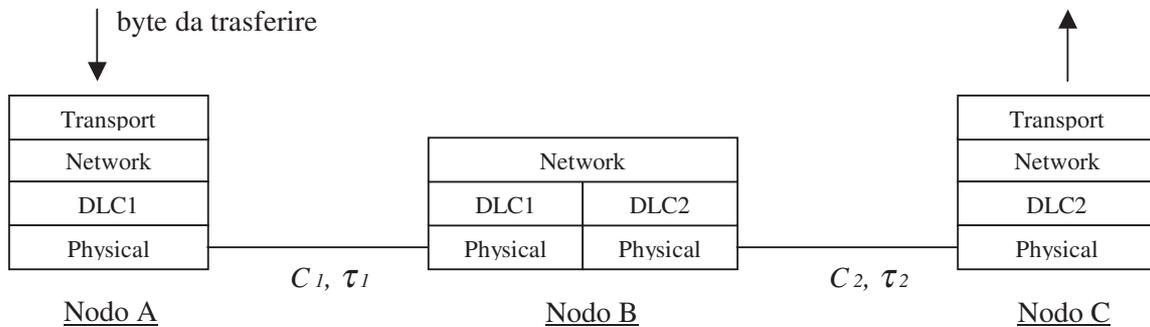
$$T_{PDU2} = T_{FRAMM2} \cdot 4 = 0,2 \cdot 4 = 0,8 \text{ s} \text{ (come stabilito inizialmente)}$$

↔ 25 ms



## Esercizio 4 (Appello del 08/09/2003)

Sia data la rete indicata in figura (il sistema è privo di errori) dove il nodo B commuta le PDU di livello 3 in modalità *store-and-forward* con un tempo di elaborazione trascurabile.



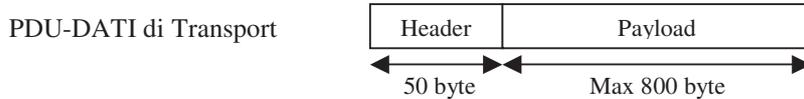
Caratteristiche dei canali di trasmissione (entrambi *full-duplex*):

$$C_1 = 64.000 \text{ bps} \quad \tau_1 = 50 \text{ ms}$$

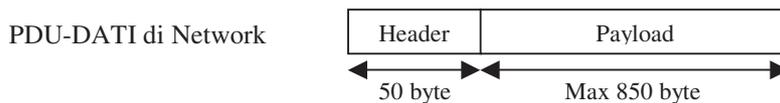
$$C_2 = 48.000 \text{ bps} \quad \tau_2 = 200 \text{ ms}$$

### Caratteristiche dei protocolli di comunicazione:

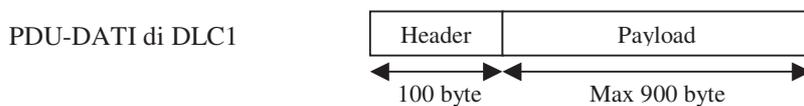
Il livello **Transport** utilizza un protocollo non confermato:



Il livello **Network** utilizza un protocollo non confermato:

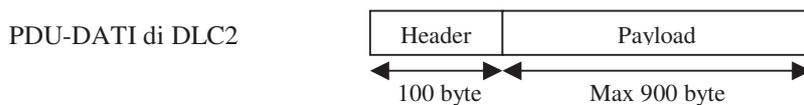


Il livello **DLC1** utilizza un protocollo confermato Stop-and-Wait:



PDU-ACK di DLC1: è costituita dalla sola *header* di 100 byte

Il livello **DLC2** utilizza un protocollo confermato Go-Back-n (con *n* specificato più avanti):



PDU-ACK di DLC2: è costituita dalla sola *header* di 100 byte

**Domande:****(Disegnare sempre tutti gli schemi temporali di trasferimento dei messaggi)**

1. Calcolare la capacità del sistema ( $C_{sistema}$ ) sperimentata al di sopra del livello *Transport* al variare del numero intero  $n$ . Disegnare inoltre il grafico di  $C_{sistema}(n)$ .
2. Considerando il caso  $n=1$ , dire come varia  $C_{sistema}$  (aumenta/diminuisce/invariata) nei casi in cui:
  - a.  $C_1$  aumenta (di una quantità infinitesima)
  - b.  $\tau_1$  aumenta (di una quantità infinitesima)
  - c.  $C_2$  aumenta (di una quantità infinitesima)
  - d.  $\tau_2$  aumenta (di una quantità infinitesima)

— . — . —

**Soluzione**

$$C_1 = 64000 \text{ bps} = 8000 \text{ Byte/s}$$

$$\tau_1 = 50 \text{ ms} = 0,05 \text{ s}$$

$$C_2 = 48000 \text{ bps} = 6000 \text{ Byte/s}$$

$$\tau_2 = 200 \text{ ms} = 0,2 \text{ s}$$

$$T_{PDU_1} = \frac{\text{Payload}_{DLC_1} + H_{DLC_1}}{C_1} = \frac{900 + 100}{8000} = 0,125s$$

$$T_{ACK_1} = \frac{H_{DLC_1}}{C_1} = \frac{100}{8000} = 0,0125s$$

$$RTT_1 = 2\tau_1 + \frac{\text{Payload}_{DLC_1} + H_{DLC_1}}{C_1} + \frac{H_{DLC_1}}{C_1} = 2 \cdot 0,05 + \frac{900 + 100}{8000} + \frac{100}{8000} = 0,2375s$$

$$T_{PDU_2} = \frac{\text{Payload}_{DLC_2} + H_{DLC_2}}{C_2} = \frac{900 + 100}{6000} = 0,166s$$

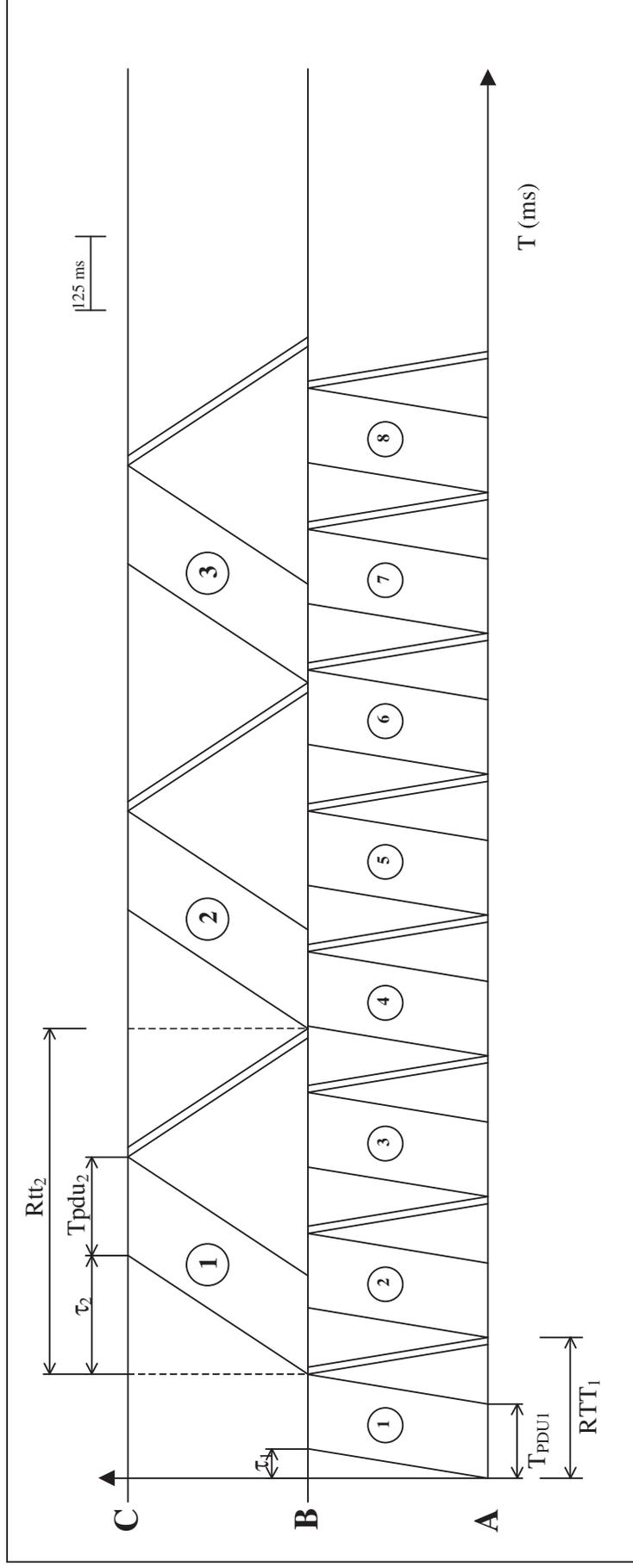
$$T_{ACK_2} = \frac{H_{DLC_2}}{C_2} = \frac{100}{6000} = 0,0166s$$

$$RTT_2 = 2\tau_2 + \frac{\text{Payload}_{DLC_2} + H_{DLC_2}}{C_2} + \frac{H_{DLC_2}}{C_2} = 2 \cdot 0,2 + \frac{900 + 100}{6000} + \frac{100}{6000} = 0,582s$$

### Caso n=1:

Con  $n=1$  il secondo canale Go Back n si comporta come uno Stop & Wait. Siccome  $RTT_2 > RTT_1$  è il canale 2 che condiziona il ritmo di arrivo delle PDU;

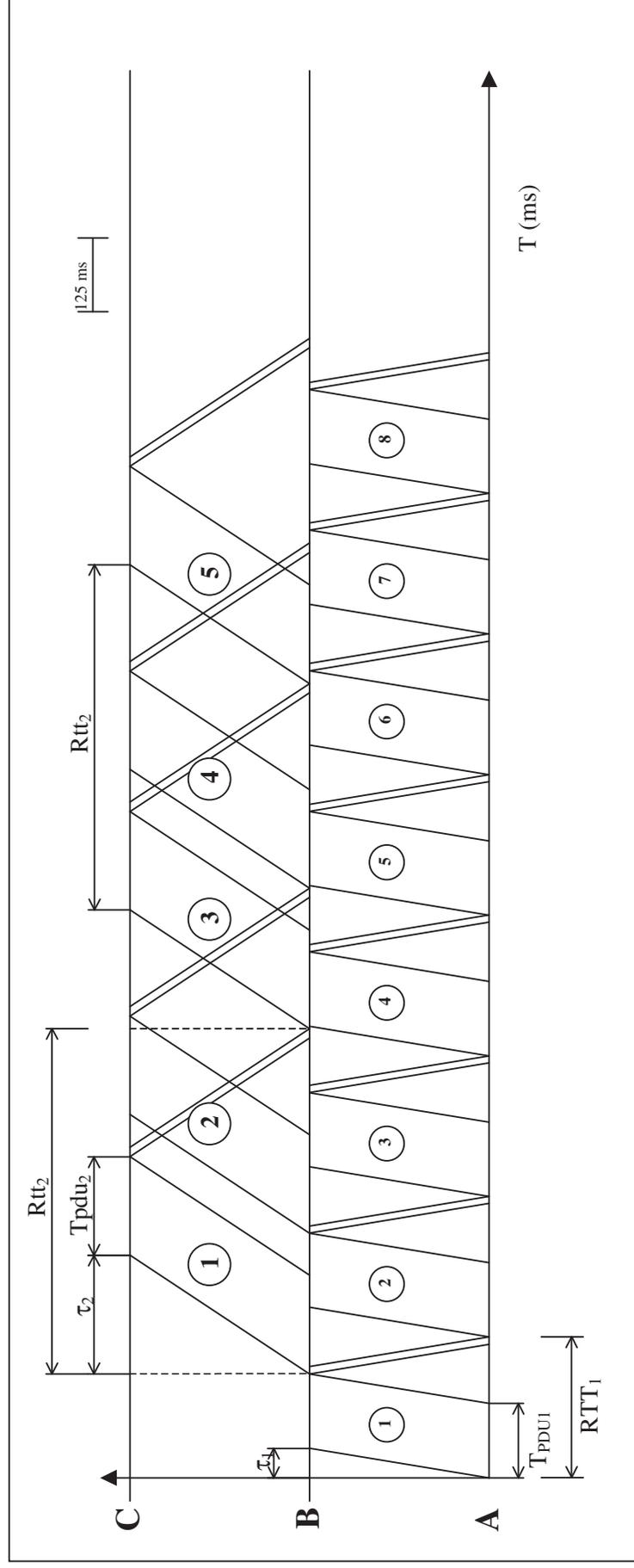
$$C_{sistema}(1) = \frac{Payload_{Tr}}{RTT_2} = \frac{800}{0,582} = 1374,5 \text{ Byte/s}$$



Caso n=2:

In questo caso sul lato destinatario si ricevono 2 PDU ogni RTT<sub>2</sub>;

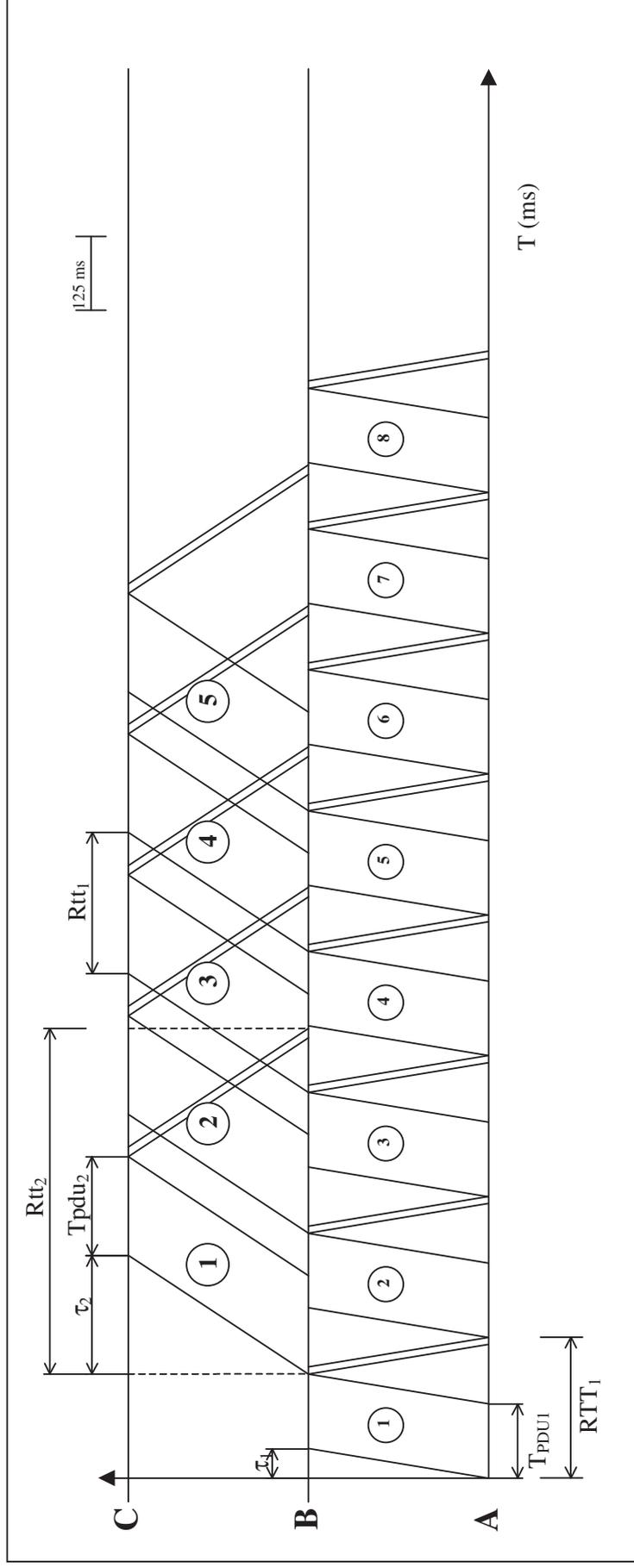
$$C_{sistema}(2) = \frac{2 \cdot Payload_{tr}}{RTT_2} = \frac{2 \cdot 800}{0,582} = 2749,1 \text{ Byte/s}$$

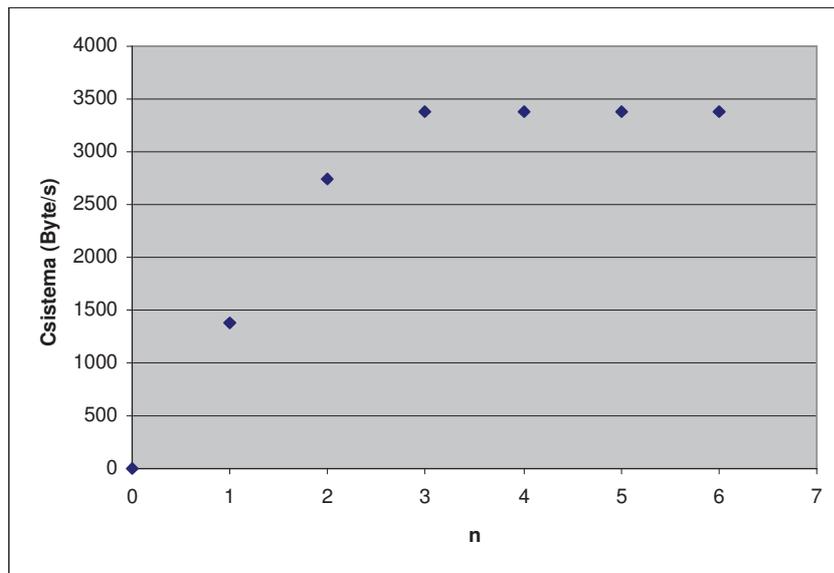


### Caso $n \geq 3$ :

Come si vede dallo schema temporale, la capacità del sistema non dipende più da  $n$ , ma dalla velocità del canale 1

$$C_{\text{sistema}} (\geq 3) = \frac{\text{Payload}_{tr}}{RTT_1} = \frac{800}{0,237} = 3375,5 \text{ Byte/s}$$





La funzione  $C_{sistema}(n)$

## Punto 2:

Nel caso in cui  $n=1$  (caso assimilabile al Go-Back  $n$ ) la formula trovata è ancora valida se le capacità o ritardi dei canali non subiscono sostanziali variazioni (come accade in questo caso, dove gli spostamenti dal valore iniziale sono infinitesimali). Recuperiamo quindi la formula ricavata in precedenza per il calcolo della  $C$  di sistema:

$$C_{sistema}(1) = \frac{Payload_{Tr}}{RTT_2} = \frac{800Byte}{RTT_2}$$

Come si può vedere, la capacità del sistema trovata è funzione di  $RTT_2$ , che a sua volta avevamo calcolato in funzione di  $\tau_2$  e  $C_2$ .

$$RTT_2 = 2\tau_2 + \frac{Payload_{DLC_2} + H_{DLC_2}}{C_2} + \frac{H_{DLC_2}}{C_2} = 2 \cdot \tau_2 + \frac{1100}{C_2}$$

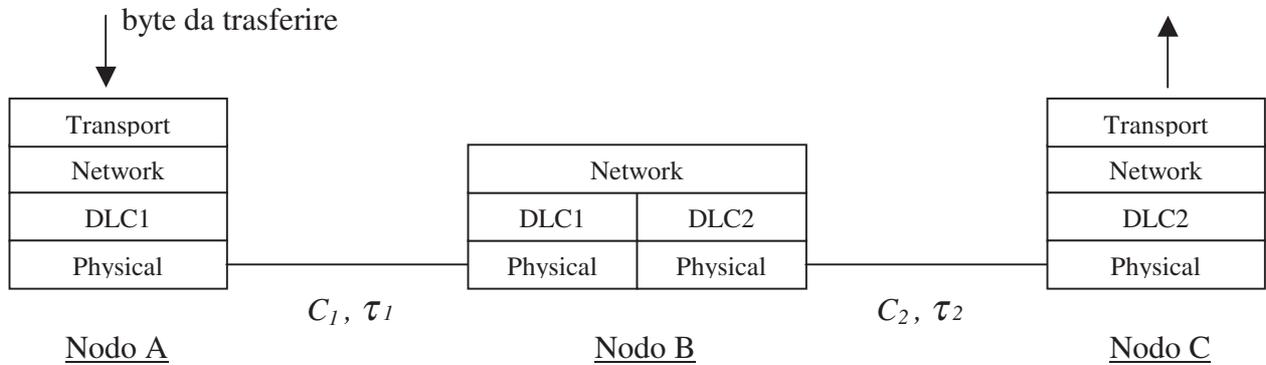
Riscrivendo quindi  $C_{sistema}$ :

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{Tr}}{2 \cdot \tau_2 + \frac{1100}{C_2}}$$

La Capacità del sistema è quindi indipendente da  $C_1$  e  $\tau_1$  e pertanto aumenti infinitesimali di questi due valori non avrebbero conseguenze sulla Capacità finale del sistema. Un aumento del ritardo  $\tau$  del canale 2 diminuirebbe invece la velocità di trasferimento del sistema, mentre un incremento di  $C_2$  ne migliorerebbe le prestazioni.

## Esercizio 5 (1° Itinere del 24/11/2003)

Sia data la rete indicata in figura (il sistema è privo di errori), nella quale il nodo B commuta i pacchetti a livello 3 in un tempo trascurabile con modalità *store-and-forward*. Tutti i nodi dispongono di buffer di dimensione infinita.



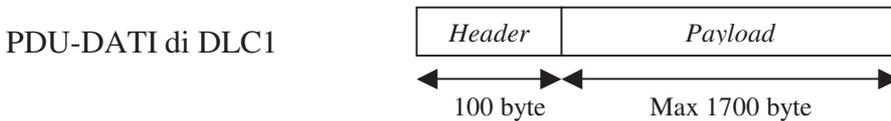
Caratteristiche dei canali di trasmissione (entrambi *full-duplex*):

$$C_1 = 24.000 \text{ bps} \quad \tau_1 = 150 \text{ ms}$$

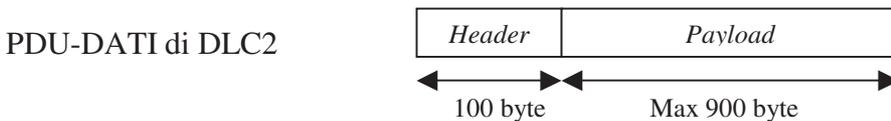
$$C_2 = 32.000 \text{ bps} \quad \tau_2 = 100 \text{ ms}$$

### Caratteristiche dei protocolli di comunicazione:

**DLC1** utilizza un protocollo non confermato

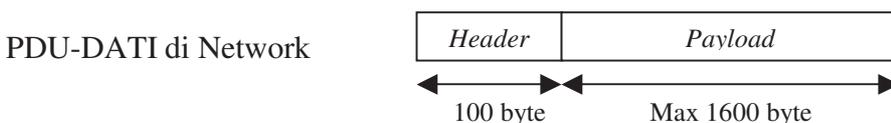


**DLC2** utilizza un protocollo confermato Go-Back-n (come al solito ipotizzare che l'entità ricevente generi una PDU-ACK per ogni PDU-DATI corretta ricevuta)



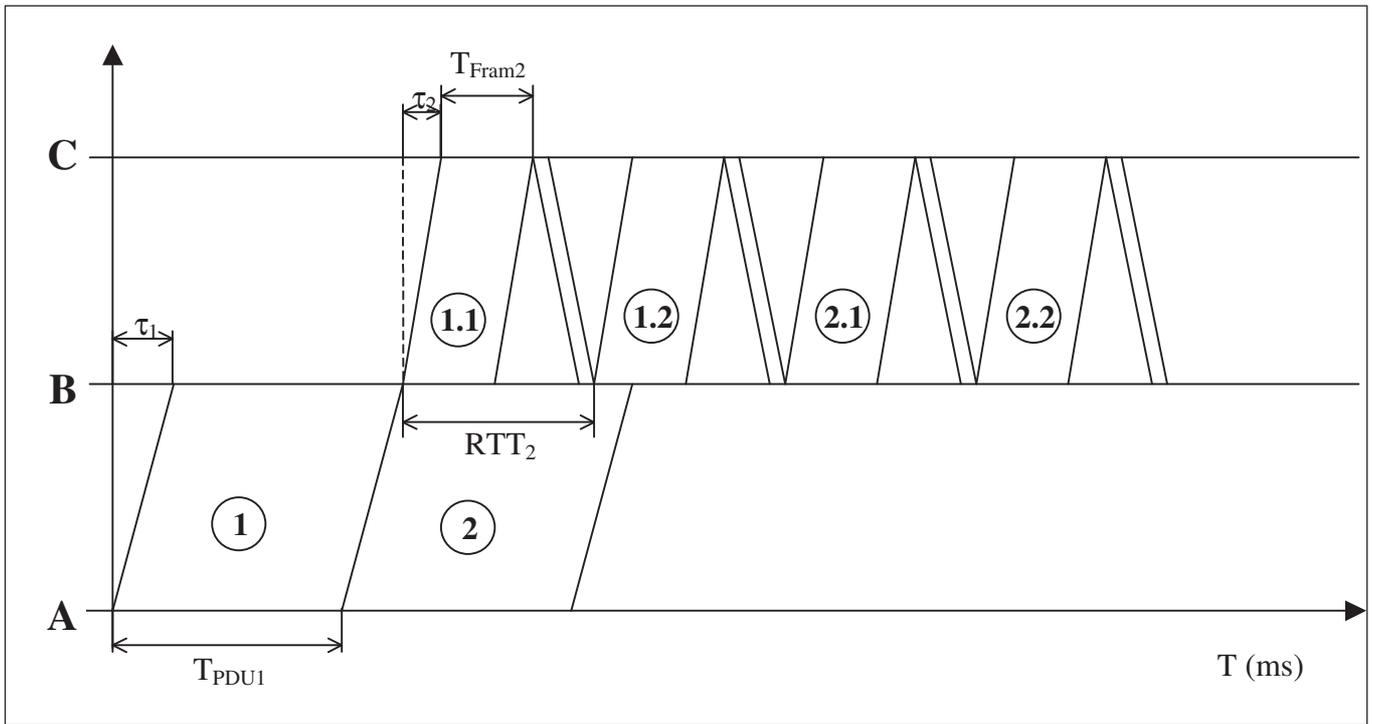
PDU-ACK di DLC2: è costituita dalla sola *header* di 100 byte

**Network** utilizza un protocollo non confermato, il quale prevede, quando serve, la funzione di frammentazione.



**Transport** utilizza un protocollo non confermato





$$T_{PDU1} = \frac{Payload_{DLC1} + H_{DLC1}}{C_1} = \frac{1700 + 100}{3000} = 0,6s$$

$$T_{Fram2} = \frac{Payload_{fram} + H_{DLC2}}{C_2} = \frac{900 + 100}{4000} = 0,25s$$

$$RTT_2 = 2\tau_2 + \frac{Payload_{DLC2} + 2H_{DLC2}}{C_2} = 2 \cdot 0,1 + \frac{900 + (2 \cdot 100)}{4000} = 0,475s$$

$$T_{PDU2} = 2 \cdot RTT_2 = 2 \cdot 0,475 = 0,95s \quad \text{Tempo per il trasferimento di una PDU sul canale 2 (2 frammenti)}$$

Siccome  $T_{PDU2} > T_{PDU1}$  è il canale 2 che condiziona il ritmo di arrivo delle PDU;

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{Tr}}{2RTT_2} = \frac{1500}{0,475 \cdot 2} = 1578 \text{ Byte/s}$$

## 2° punto:

$C_{sistema}$  dipende da  $C_2$  quando  $2RTT(C_2) \geq T_{PDU1}$ , ovvero fino a che  $T_{PDU1} = 2RTT$

$$T_{PDU1} = 2RTT$$

$$T_{PDU1} = \left( 2\tau_2 + \frac{MSS + 2H}{C_2} \right) \cdot 2$$

$$0,6 = \left( 0,2 + \frac{900 + 200}{C_2} \right) \cdot 2$$

$$0,6 = 0,4 + \frac{1800 + 400}{C_2}$$

$$0,2 = \frac{2200}{C_2}$$

$$0,2 \cdot C_2 = 2200 \Rightarrow C_2 = 11000 \text{ Byte /s}$$

▪ **Con  $C_2 < 11000$**   $C_{\text{система}}(C_2) = \frac{\text{Payload}_{Tr}}{2RTT_2}$

$$C_{\text{система}}(C_2) = \frac{\text{Payload}_{Tr}}{\left(2\tau_2 + \frac{M + 2H}{C_2}\right) \cdot 2} = \frac{1500}{\left(2 \cdot 0,1 + \frac{900 + (2 \cdot 100)}{C_2}\right) \cdot 2} = \frac{1500 C_2}{0,4 C_2 + 2200}$$

$$C'_{\text{система}}(C_2) = \frac{1500(0,4 C_2 + 2200) - 0,4(1500 C_2)}{(0,4 C_2 + 2200)^2} = \frac{3,3 \cdot 10^6}{(0,4 C_2 + 2200)^2}$$

La derivata prima è sempre positiva, quindi la funzione risulta essere sempre crescente

$$C''_{\text{система}}(C_2) = \frac{-3,3 \cdot 10^6 (0,32 C_2 + 1760)}{(0,4 C_2 + 2200)^4}$$

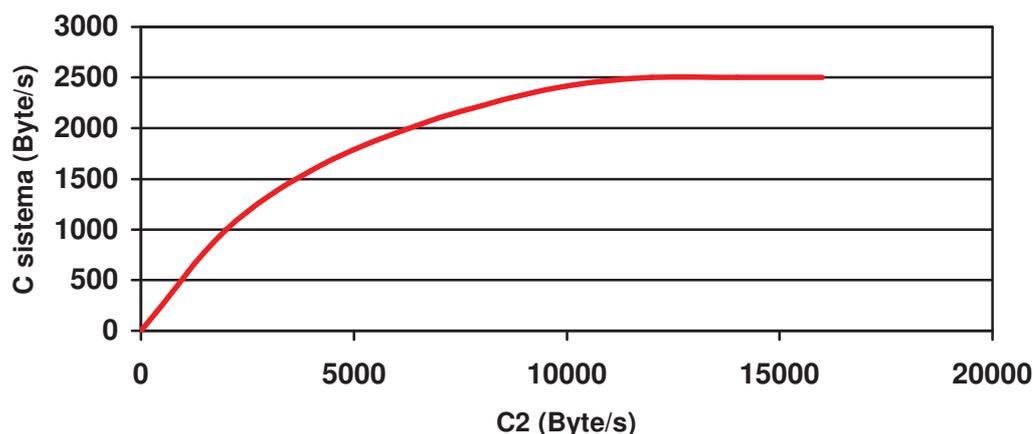
La derivata seconda è sempre negativa, quindi la funzione presenta una concavità rivolta verso il basso

Per  $C_2 = 0$ :  $C_{\text{система}}(0) = 0$  per cui la funzione passa per l'origine

$C_2$  per sua natura può assumere solo valori positivi

▪ **Con  $C_2 > 11000$**  il valore della  $C_{\text{система}}$  rimane costante poiché non dipende più da  $C_2$  (il canale limitante risulta essere il primo), per cui:

$$C_{\text{система}}(C_2) = \frac{\text{Payload}_{Tr}}{T_1} = C_1 \cdot \frac{M}{M + H_{Tot}} = 3000 \cdot \frac{1500}{1500 + 300} = 2500 \text{ Byte/s}$$



### 3° Punto

La funzione  $C_{sistema}(n)$  è una funzione discreta, poiché la variabile indipendente  $n$  può assumere solo valori discreti positivi, da 1 a infinito. Al crescere della finestra ( $n$ ) aumentano i frammenti che possono essere spediti in maniera consecutiva prima dell'arrivo del primo ACK.

Per questo motivo la  $C_{sistema}$  cresce all'aumentare di  $n$  ed arriverà a stabilizzarsi nel momento in cui il tempo di trasferimento della finestra risulta essere maggiore di  $RTT_2$ .

Si procede quindi calcolando la  $C_{sistema}$  aumentando progressivamente  $n$  ed analizzando la rispettiva situazione:

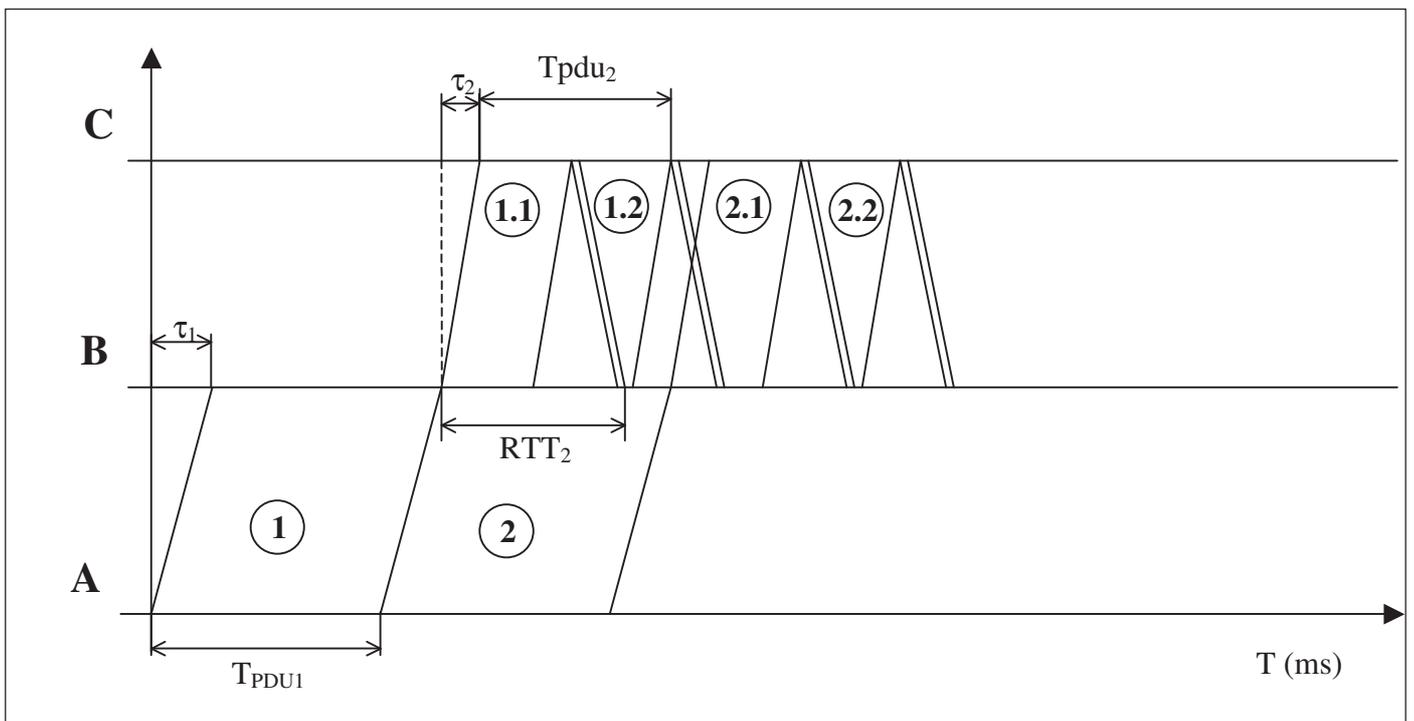
$$C_{sistema}(n=1) = \frac{Payload_{Tr}}{2RTT_2} = \frac{1500}{2 \cdot 0,475} = 1578 \text{ Byte/s}$$

$C_{sistema}(n=2)$ :

$$T_{PDU1} = \frac{Payload_{DLC} + H_{DLC}}{C_1} = \frac{1700 + 100}{3000} = 0,6s$$

$$T_{PDU2} = T_{Window} = \frac{(Fragment_{DLC} + H_{DLC}) \cdot 2}{C_2} = \frac{(900 + 100) \cdot 2}{4000} = 0,5s$$

Il tempo di trasferimento della finestra (i due frammenti) è maggiore di  $RTT_2$ , per cui a partire da  $n \geq 2$  il protocollo DLC2 si comporta come se non fosse confermato.

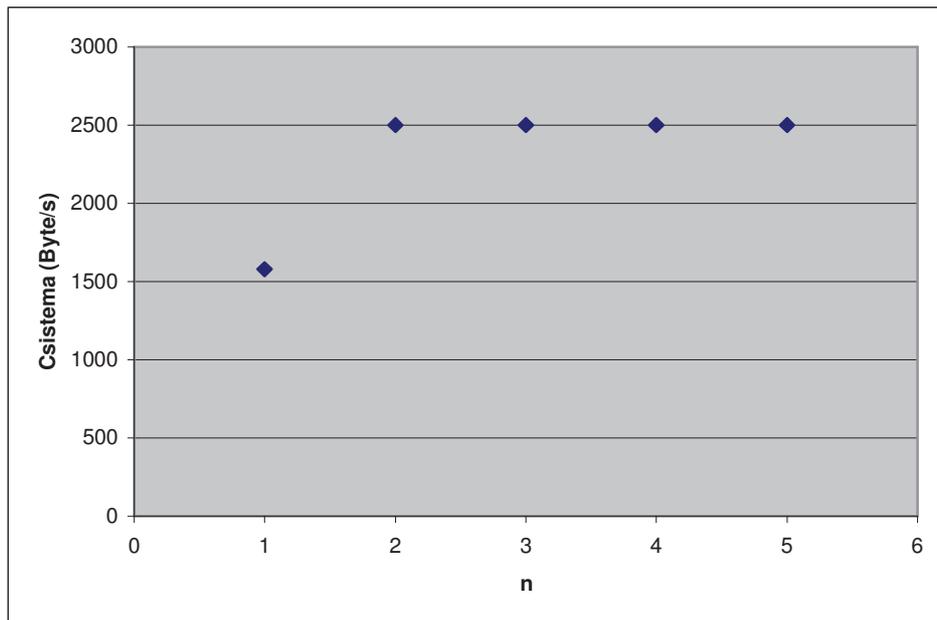


Essendo  $T_{PDU2} < T_{PDU1}$  si può concludere che il canale che condiziona la  $C_{sistema}$  è il primo. Osservando lo schema temporale si nota inoltre che all'aumentare di  $n$  (dopo il valore "2") la situazione non cambia.

Il nodo B non sfrutterà mai una finestra maggiore di 2 poiché deve rimanere in attesa dell'arrivo del pacchetto dal nodo A.

Si può concludere quindi che con  $n \geq 2$  lo schema temporale rimane costante e uguale a quello sopra indicato, per cui

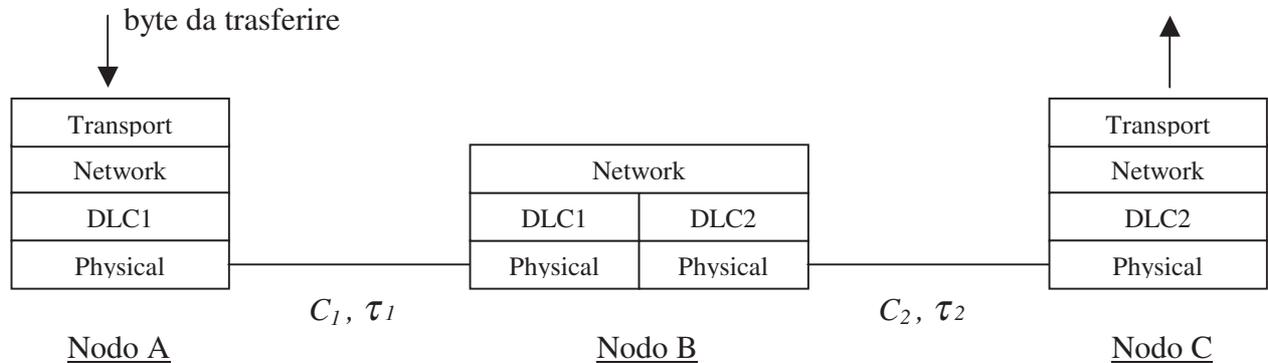
$$C_{sistema}(n > 2) = \frac{Payload_{tr}}{T_1} = \frac{1500}{0,6} = 2500 \text{ Byte/s}$$



Il grafico della funzione  $C_{sistema}(n)$

## Esercizio 6 (Appello del 10/02/2004)

Sia data la rete indicata in figura (il sistema è privo di errori), nella quale il nodo B commuta i pacchetti a livello 3 in un tempo trascurabile con modalità *store-and-forward*. Tutti i nodi dispongono di buffer di dimensione infinita.



Caratteristiche dei canali di trasmissione (entrambi *full-duplex*):

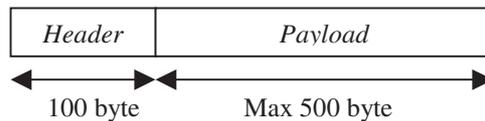
$$C_1 = 32.000 \text{ bps} \quad \tau_1 = 150 \text{ ms}$$

$$C_2 = 24.000 \text{ bps} \quad \tau_2 = 100 \text{ ms}$$

### Caratteristiche dei protocolli di comunicazione:

**DLC1** utilizza un protocollo confermato di tipo *Go-Back-n* (come al solito ipotizzare che l'entità ricevente generi una PDU-ACK per ogni PDU-DATI corretta ricevuta), con  $n$  specificato più avanti

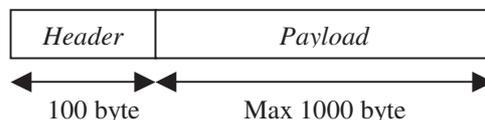
PDU-DATI di DLC1



PDU-ACK di DLC1: è costituita dalla sola *header* di 100 byte

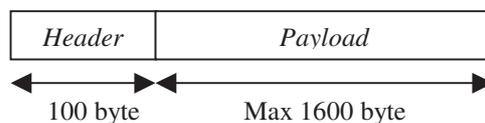
**DLC2** utilizza un protocollo non confermato

PDU-DATI di DLC2

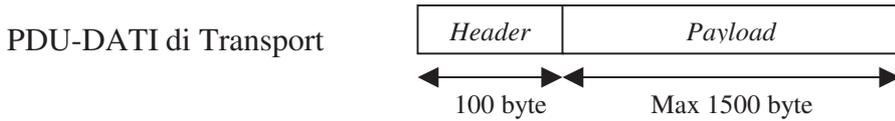


**Network** utilizza un protocollo non confermato, il quale prevede, quando serve, la funzione di frammentazione (come al solito ipotizzare che l'operazione di ricomposizione della PDU frammentata venga svolta solo sul destinatario finale C).

PDU-DATI di Network



**Transport** utilizza un protocollo non confermato



**Domande:**

(Disegnare tutti gli schemi temporali; spiegare **sempre** ed in dettaglio ogni passo/assunzione fatti)

1. Nel caso in cui  $n=1$  (DLC1) calcolare:
  - a. la capacità  $C_{sistema}$  sperimentata al di sopra del livello *Transport* in un trasferimento da A a C.
  - b. il ritardo  $\tau_{end-to-end}$  da A a C sperimentato al di sopra del livello *Transport* da un messaggio di lunghezza pari a 1500 byte (si ipotizzi che sulla rete venga trasferito solo tale messaggio).

Calcolare  $C_{sistema}$  e  $\tau_{end-to-end}$  richiesti ai punti (a) e (b) della precedente domanda, nel caso in cui  $n=2$  (DLC1), calcolandone altresì la variazione percentuale (rispetto ai valori calcolati alla domanda precedente).

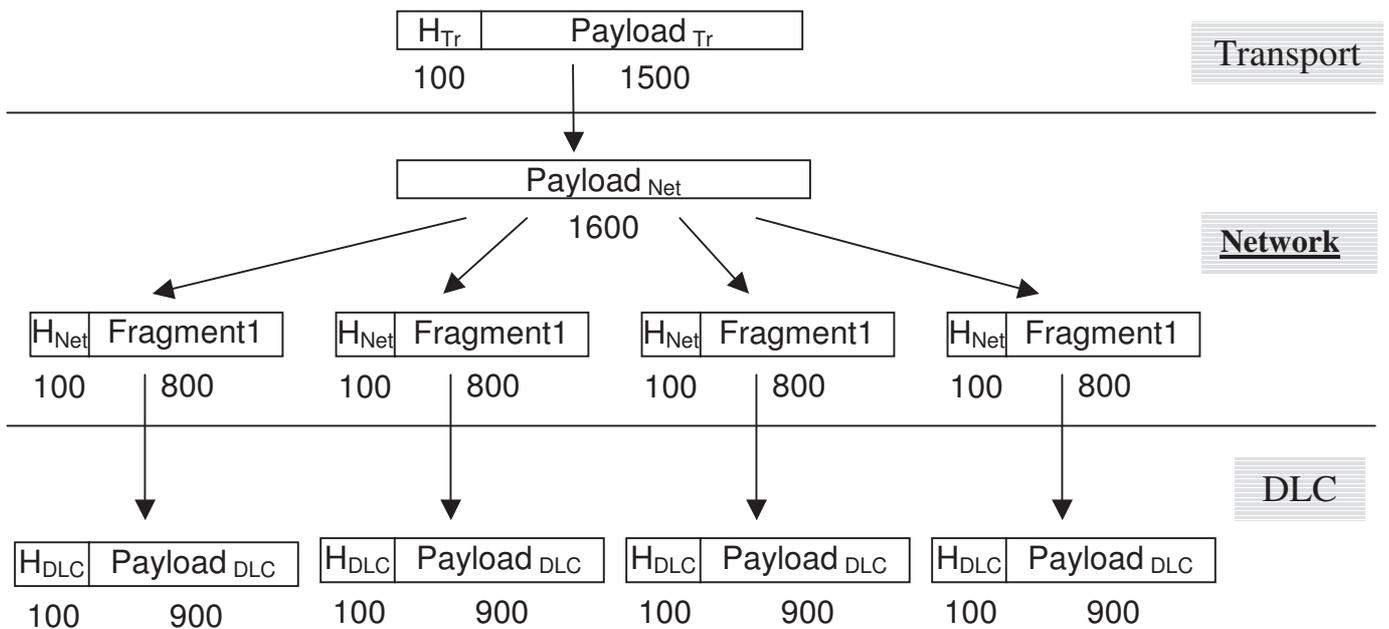
— . — . —

**Soluzione**

$$C_1 = 24000 \text{ bps} = 3000 \text{ byte/s} \qquad \tau_1 = 150 \text{ ms} = 0,15 \text{ s}$$

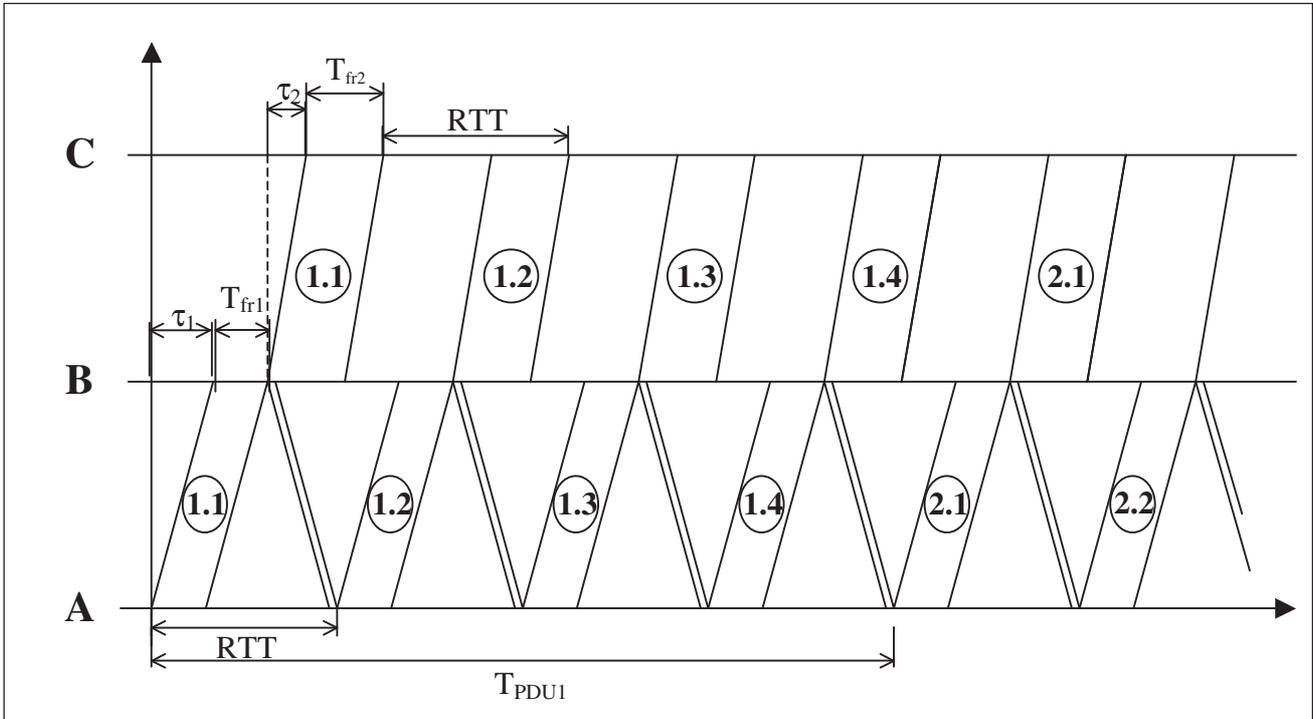
$$C_2 = 32000 \text{ bps} = 4000 \text{ byte/s} \qquad \tau_2 = 100 \text{ ms} = 0,1 \text{ s}$$

Il livello Network deve eseguire la frammentazione nei confronti del DLC1, secondo il seguente schema:



## Punto 1:

In questo primo caso DLC1 utilizza un protocollo confermato di tipo Go-Back-n con n pari ad 1, funzionando peranto di fatto come un protocollo di tipo Stop-and-Wait. Sapendo inoltre che il protocollo utilizzato da DLC2 è di tipo non-confermato, possiamo disegnare lo schema temporale sotto riportato.



Dovendo calcolare la C del sistema sperimentata al di sopra del livello Transport, iniziamo con il calcolare i tempi impiegati per trasmettere un frammento rispettivamente sul primo e sul secondo canale e quindi l'RTT relativo alla trasmissione lungo il canale 1 di un frammento :

$$T_{fram1} = \frac{Payload_{fram} + H_{DLC}}{C_1} = \frac{500 + 100}{4000} = 0,15s$$

$$T_{fram2} = \frac{Payload_{fram} + H_{DLC}}{C_2} = \frac{500 + 100}{3000} = 0,2s$$

$$RTT_1 = 2\tau_1 + \frac{Payload_{fram} + 2H_{DLC}}{C_1} = 2 \cdot 0,15 + \frac{500 + (2 \cdot 100)}{4000} = 0,475s$$

A questo punto possiamo calcolare i tempi totali di trasmissione di una PDU (composta come visto da 4 frammenti) sul primo e sul secondo canale e confrontarli quindi tra loro...

$$T_{PDU1} = 4 \cdot RTT_1 = 4 \cdot 0,475 = 1,9s$$

$$T_{PDU2} = 4 \cdot T_{fram2} = 4 \cdot 0,2 = 0,8s$$

Siccome  $T_{PDU1} > T_{PDU2}$ , sarà il canale 1 a condizionare il ritmo di arrivo delle PDU e la capacità del sistema sperimentata al di sopra del livello Transport in un trasferimento da A a C sarà pari a:

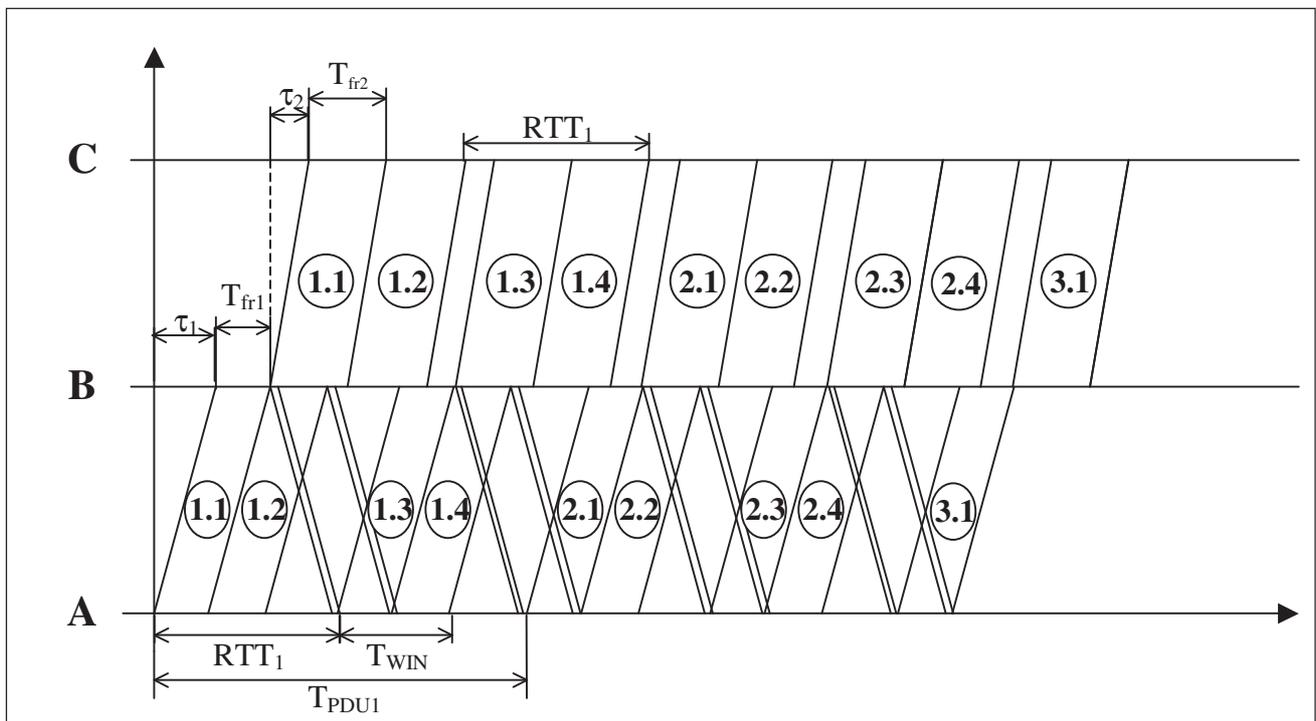
$$C_{sistema} = \frac{PDU_{TRANSPORT}}{T_{PDU1}} = \frac{PDU_{TRANSPORT}}{4RTT_1} = \frac{1500}{0,475 \cdot 4} = 789 \text{ byte/s}$$

Il ritardo  $\tau_{end-to-end}$  da A a C sperimentato al di sopra del livello Transport da un messaggio di 1500 byte altro non è che il tempo che intercorre dall'istante in cui parte dal nodo A il primo frammento della PDU-dati all'istante in cui l'ultimo frammento che compone la stessa PDU-dati giunge sul nodo destinatario. Osservando quindi lo schema temporale si ricava che:

$$\tau_{end-to-end} = \tau_1 + T_{fram1} + \tau_2 + T_{fram2} + 3RTT_1 = 0,15 + 0,15 + 0,1 + 0,2 + 3 \cdot 0,475 = 2,025s$$

## Punto 2:

Nel secondo caso DLC1 utilizza un protocollo confermato di tipo Go-Back-n con  $n=2$  mentre DLC2 è sempre di tipo non-confermato. Lo schema temporale risulta quindi differente da quello precedente:



Poichè sul canale 1 è utilizzato un protocollo confermato "a finestra" di tipo Go-Back-n, occorre per prima cosa confrontare il tempo di apertura della finestra di trasmissione  $T_{WIN}$  con il  $RTT_1$  e dedurre il tipo di trasmissione a regime (ovviamente considerando il sistema privo di errori):

$$T_{fram1} = \frac{Payload_{fram} + H_{DLC}}{C_1} = \frac{500 + 100}{4000} = 0,15s$$

$$T_{WIN} = 2 \cdot \frac{Payload_{fram} + H_{DLC}}{C_1} = 2 \cdot \frac{500 + 100}{4000} = 0,3s$$

$$RTT_1 = 2\tau_1 + \frac{Payload_{fram} + 2H_{DLC}}{C_1} = 2 \cdot 0,15 + \frac{500 + (2 \cdot 100)}{4000} = 0,475s$$

Essendo  $T_{WIN} < RTT_1$ , sul primo canale non si instaurerà una trasmissione continua bensì verranno spediti 2 frammenti ogni RTT.

Tenendo sempre a mente che la PDU-Dati presa in considerazione viene divisa in 4 frammenti, possiamo calcolare i nuovi tempi totali di trasmissione di una PDU sul primo e sul secondo canale.

$$T_{PDU1} = 2 \cdot RTT_1 = 2 \cdot 0,475 = 0,95s$$

$$T_{fram2} = \frac{Payload_{fram} + H_{DLC}}{C_2} = \frac{500 + 100}{3000} = 0,2s$$

$$T_{PDU2} = 4 \cdot T_{fram2} = 4 \cdot 0,2 = 0,8s$$

Come nel caso precedente,  $T_{PDU1} > T_{PDU2}$  e pertanto sarà sempre il canale 1 a condizionare il ritmo di arrivo delle PDU. La capacità del sistema sperimentata al di sopra del livello Transport in un trasferimento da A a C sarà pari a:

$$C_{sistema} = \frac{PDU_{TRANSPORT}}{T_{PDU1}} = \frac{PDU_{TRANSPORT}}{2RTT_1} = \frac{1500}{0,475 \cdot 2} = 1579 \text{ byte/s}$$

Sempre aiutandosi con lo schema temporale, si trova inoltre che il ritardo  $\tau_{end-to-end}$  da A a C sperimentato al di sopra del livello Transport da un messaggio di 1500 byte è pari a:

$$\tau_{end-to-end} = \tau_1 + T_{fram1} + \tau_2 + 2 \cdot T_{fram2} + RTT_1 = 0,15 + 0,15 + 0,1 + 2 \cdot 0,2 + 0,475 = 1,275s$$

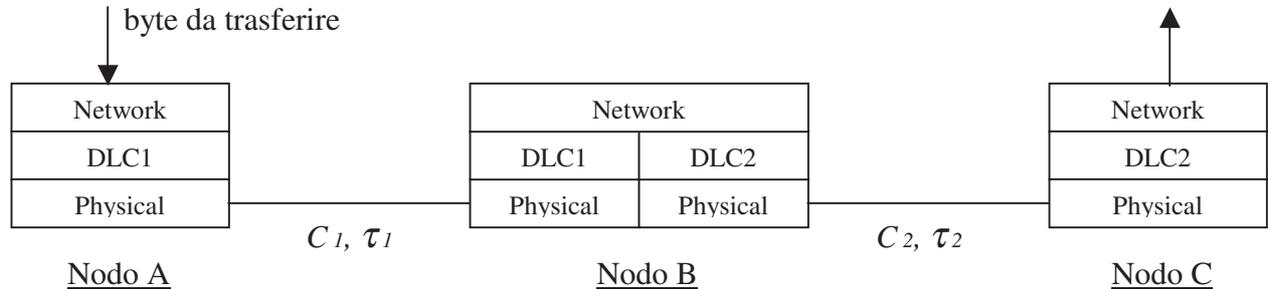
Volendo calcolare le variazioni percentuali di  $C_{sistema}$  e del ritardo  $\tau_{end-to-end}$  rispetto ai valori calcolati precedentemente, si trova che:

$$\Delta C_{sistema} \% = \frac{C_{sistema2} - C_{sistema1}}{C_{sistema1}} \cdot 100 = \frac{1579 - 789}{789} \cdot 100 = +100\%$$

$$\Delta \tau_{endtoend} \% = \frac{\tau_{endtoend2} - \tau_{endtoend1}}{\tau_{endtoend1}} \cdot 100 = \frac{1,275 - 2,025}{2,025} \cdot 100 = -37\%$$

## Esercizio 7 (Appello del 25/02/2004)

Sia data la rete indicata in figura (il sistema è privo di errori) dove il nodo B commuta i pacchetti in modalità *store-and-forward* con un tempo di commutazione trascurabile.



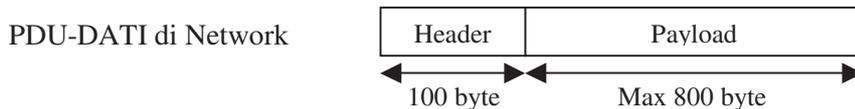
Caratteristiche dei canali di trasmissione (entrambi *full-duplex*):

$$C_1 = 16.000 \text{ bps} \quad \tau_1 = 100 \text{ ms}$$

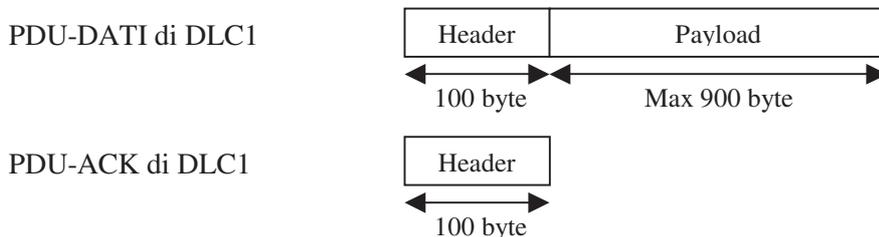
$$C_2 = 20.000 \text{ bps} \quad \tau_2 = 100 \text{ ms}$$

### Caratteristiche dei protocolli di comunicazione:

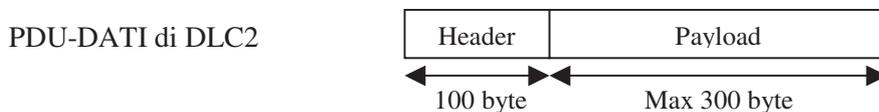
**Network** utilizza un protocollo non confermato, il quale prevede, quando serve, la funzione di frammentazione (come al solito ipotizzare che l'operazione di ricomposizione della PDU frammentata venga svolta solo sul destinatario finale C)



Il livello **DLC1** utilizza un protocollo confermato di tipo Go-Back-n (con  $n$  specificato nella sezione domande):



Il livello **DLC2** utilizza un protocollo non confermato:

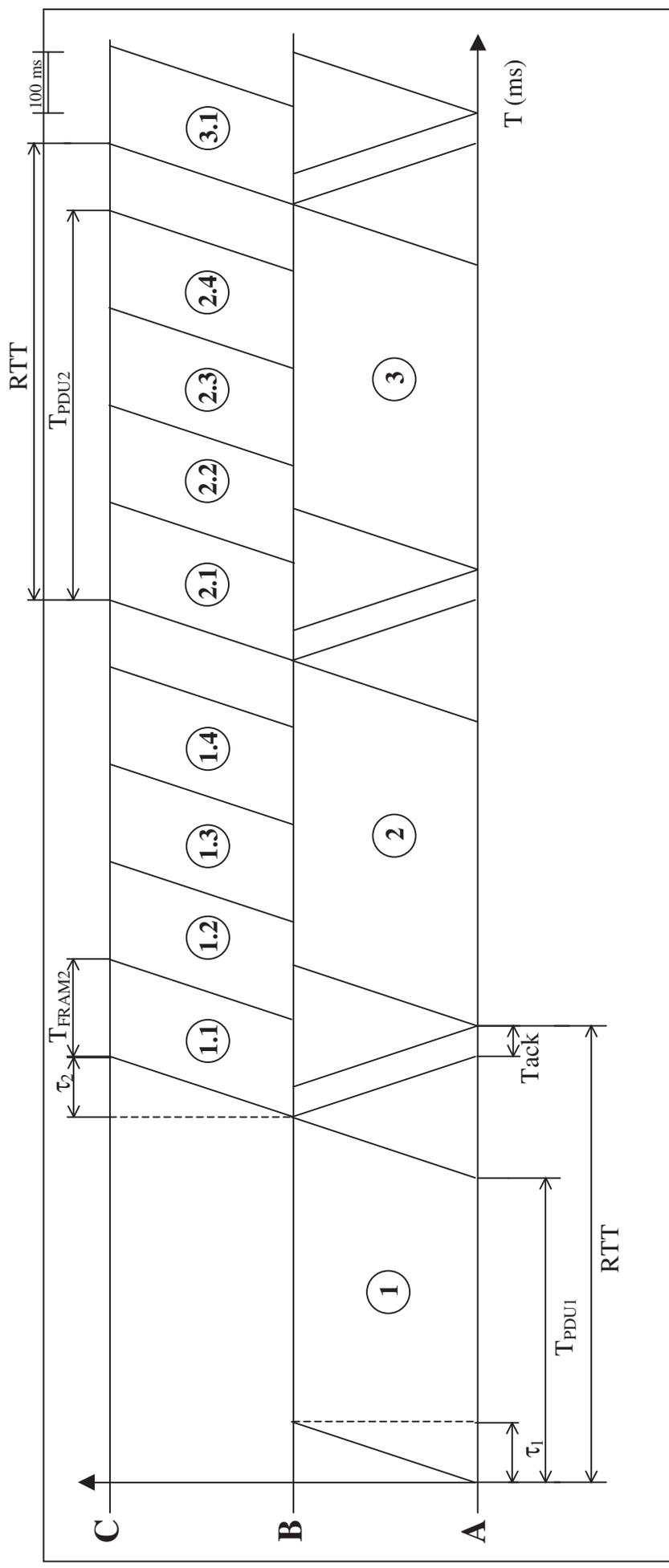




Caso n=1:

Per n=1 il protocollo Go-Back-1 si comporta come se fosse un protocollo Stop&Wait. Inoltre  $RTT > T_{PDU2}$ , ovvero lo strozzante è il canale A-B, perciò la capacità del sistema al di sopra del livello Network dipende dal RTT.

$$C_{Sistema} = \frac{Payload_{Network}}{RTT} = \frac{800}{0,75} = 1066,66 \text{ Byte} / s$$

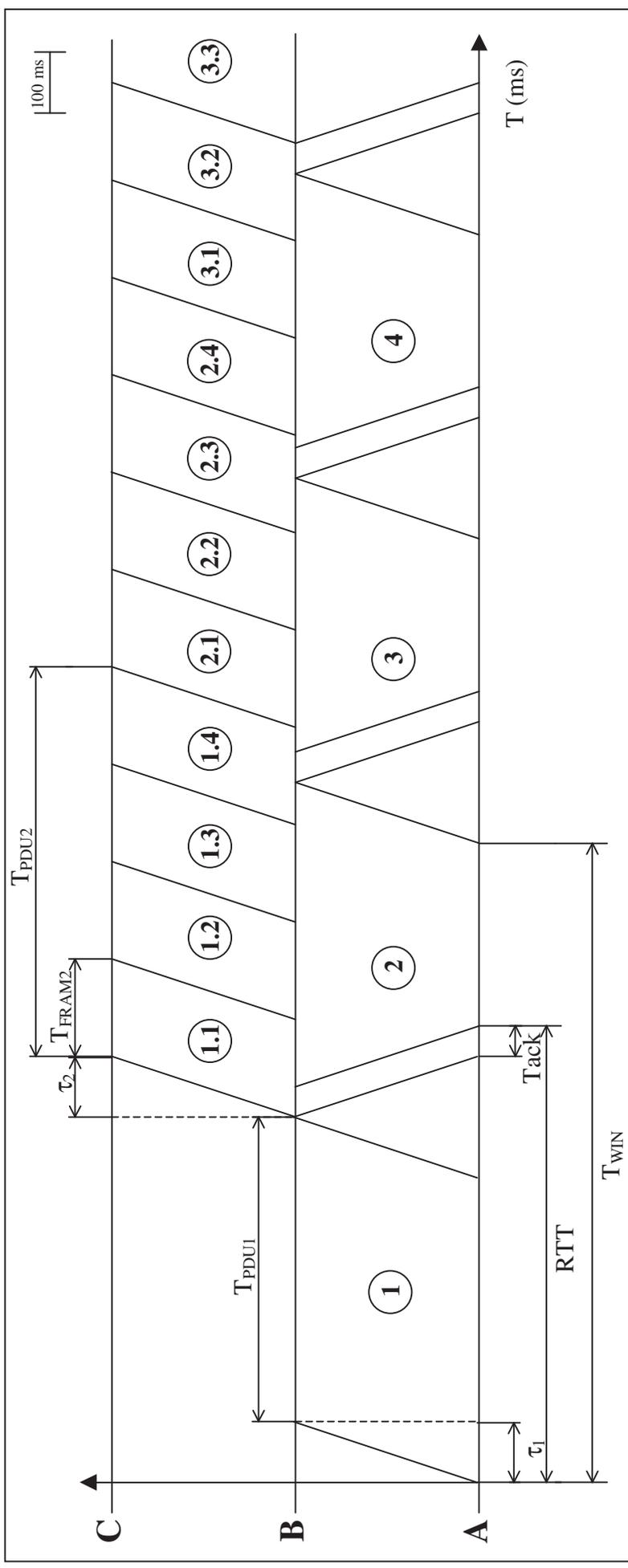


### Caso n=2:

$$T_{WINDOW} = Payload_{DLC1} \cdot 2 = 0,5 \cdot 2 = 1s$$

Per n=2 il  $T_{WINDOW} > RTT$ . Questo significa che il protocollo Go-Back-2 si comporta con la caratteristica di un normale trasferimento in continua non confermato, quindi i tempi di trasmissione delle Ack sono influenti sul calcolo prestazionale. Il canale strozzante in questo caso è B-C perché  $T_{PDU2} > T_{PDU1}$ . La capacità del sistema al di sopra del livello Network dipenderà perciò da  $T_{PDU2}$ .

$$C_{Sistema} = \frac{Payload_{Network}}{T_{PDU2}} = \frac{800}{0,64} = 1250 \text{ Byte / s}$$

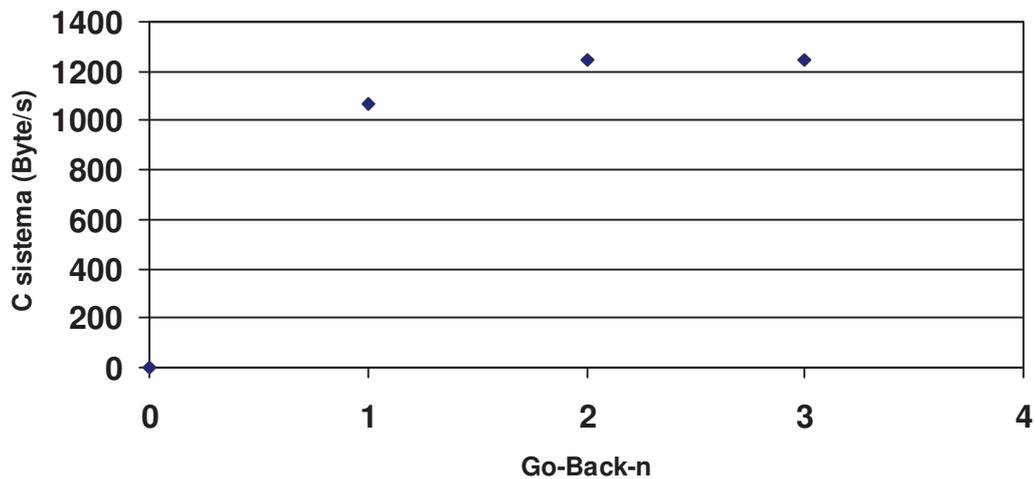


### Caso n=3:

Per  $n=3$  la capacità del sistema al di sopra del livello Network non cambia perché, come prima,  $T_{WINDOW} > RTT$ . Il protocollo Go-Back-3 si comporta quindi come un non-confermato. Come nel caso, precedente la  $C_{Sistema} = 1250$  Byte/s.

A questo punto possiamo visualizzare l'andamento della  $C_{Sistema}$  al variare dell'apertura della finestra di trasmissione:

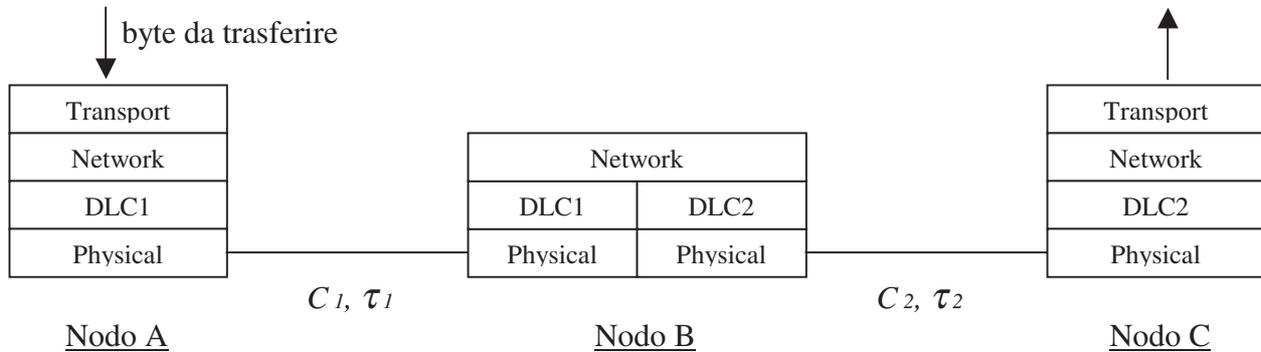
n	0	1	2	3	...
C sistema (Byte/s)	0	1067	1250	1250	1250



Andamento della  $C_{Sistema}$  in funzione di  $n$  (a valori discreti).

## Esercizio 8 (1° Itinere del 30/04/2002)

Sia data la rete indicata in figura (il sistema è privo di errori) dove il nodo B commuta i pacchetti in modalità *store-and-forward* con  $\tau_{\text{forwarding}} = 0$ .



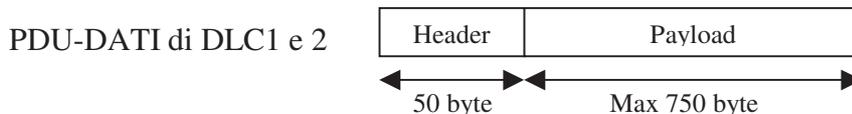
Caratteristiche dei canali di trasmissione (entrambi *full-duplex*):

$$C_1 = 32 \text{ Kbps} \quad \tau_1 = 100 \text{ ms}$$

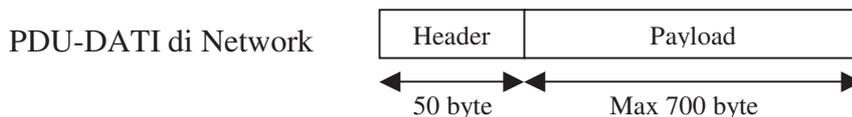
$$C_2 = 16 \text{ Kbps} \quad \tau_2 = 50 \text{ ms}$$

Caratteristiche dei protocolli di comunicazione:

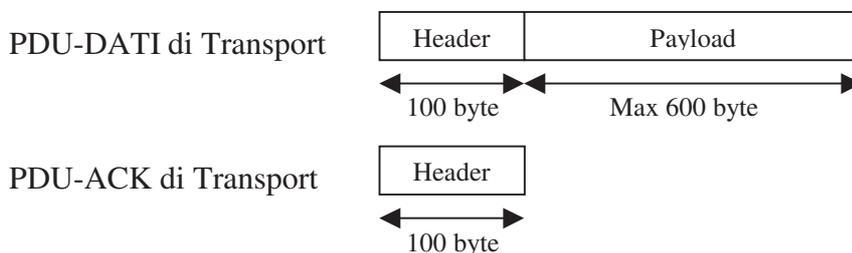
**DLC1 e DLC2** utilizzano lo stesso protocollo, il quale è non confermato:



**Network** utilizza un protocollo non confermato:



**Transport** utilizza un protocollo confermato di tipo *Stop-and-Wait*:



**Domande:**

- 1) Calcolare la capacità del sistema sperimentata al di sopra del livello *Transport*, nonché l'utilizzo medio dei link, quando è in corso un trasferimento di una sequenza illimitata di byte dal nodo A al nodo C.
- 2) Calcolare la capacità del sistema sperimentata al di sopra del livello *Transport*, quando è in corso un trasferimento di una sequenza di byte dal nodo A al nodo C, nell'ipotesi in cui:
  - La lunghezza massima del Payload di **DLC2** è pari a 250 byte (le lunghezze massime del Payload degli altri protocolli rimangono invariate).



$$T_{ACK1} = \frac{H_{TRANSPORT} + H_{NETWORK} + H_{DLC}}{C_1} = \frac{100+50+50}{4000} = 0,05s$$

$$T_{ACK2} = \frac{H_{TRANSPORT} + H_{NETWORK} + H_{DLC}}{C_2} = \frac{100+50+50}{2000} = 0,1s$$

Basandosi sul grafico temporale, a questo punto è facile calcolare il RTT e, di conseguenza, la capacità del sistema vista al di sopra del livello Transport.

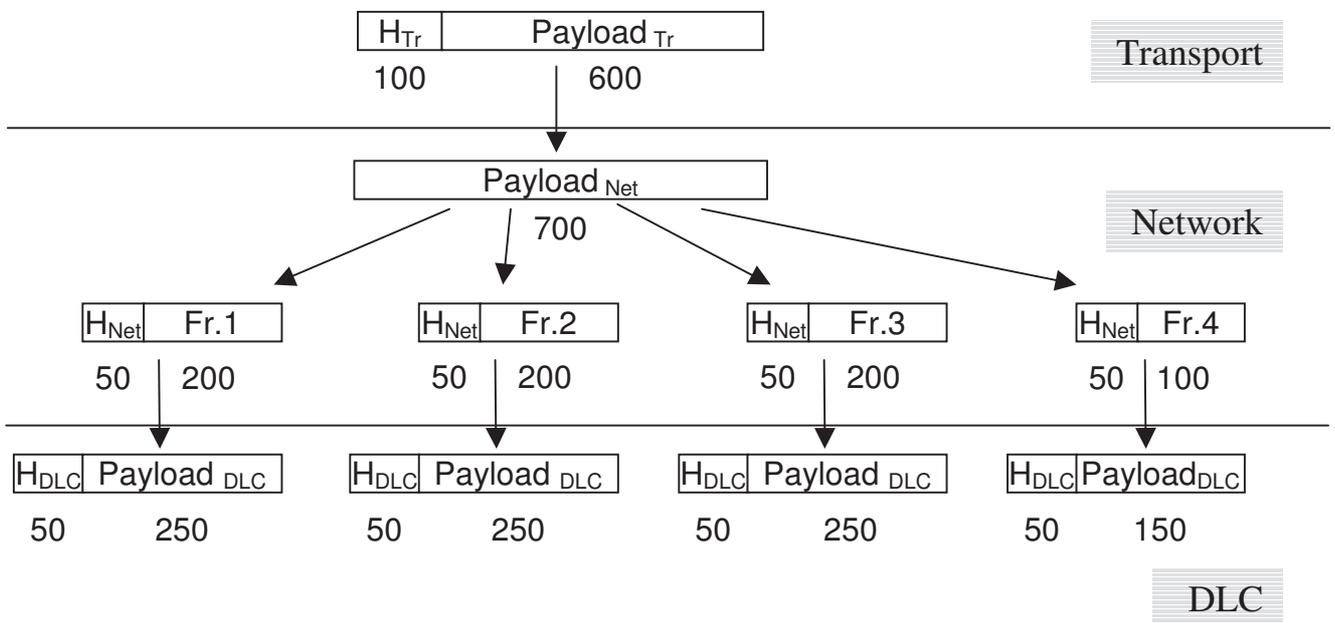
$$RTT = \tau_1 + T_{PDU1} + \tau_2 + T_{PDU2} + \tau_2 + T_{ACK2} + \tau_1 + T_{ACK1} =$$

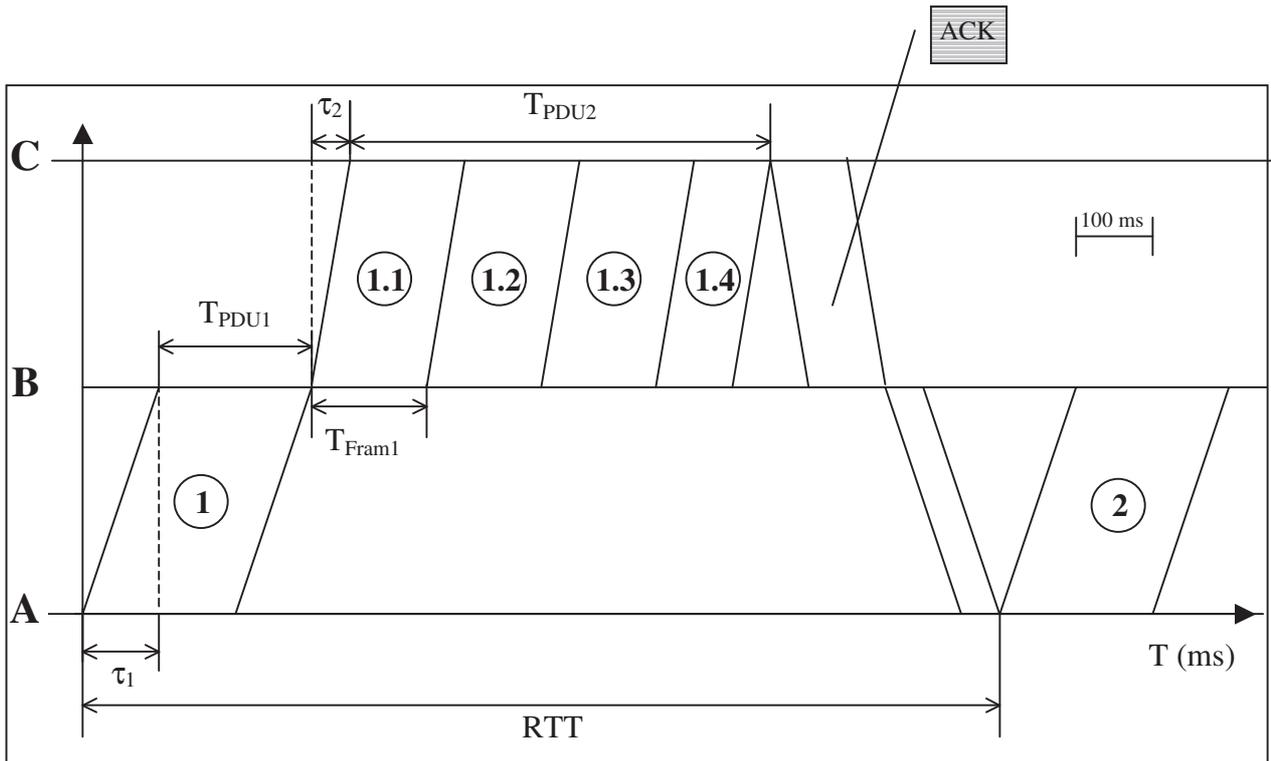
$$= 0,1 + 0,2 + 0,05 + 0,4 + 0,05 + 0,1 + 0,1 + 0,05 = 1,05s$$

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{TRANSPORT}}{RTT} = \frac{600}{1,05} = 571 \text{ Byte/s}$$

## 2° punto:

Il livello Network deve eseguire la frammentazione nei confronti del DLC2, secondo il seguente schema:





I tempi per il trasferimento sul canale 2 dei diversi frammenti sono:

$$T_{Fram1} = T_{Fram2} = T_{Fram3} = \frac{Payload_{Fram1} + H_{DLC}}{C_2} = \frac{250+50}{2000} = 0,15s \quad \text{Tempo per 1° frammento (1.1)}$$

$$T_{Fram4} = \frac{Payload_{Fram4} + H_{DLC}}{C_2} = \frac{150+50}{2000} = 0,1s \quad \text{Tempo per 4° frammento (1.4)}$$

$T_{PDU2}$  è formato dai 3 frammenti da 300 byte più il frammento da 200 byte:

$$T_{PDU2} = 3 \cdot T_{Fram1} + T_{Fram4} = 3 \cdot 0,15 + 0,1 = 0,55s$$

$$RTT = \tau_1 + T_{PDU1} + \tau_2 + T_{PDU2} + \tau_2 + T_{ACK2} + \tau_1 + T_{ACK1} = \\ = 0,1 + 0,2 + 0,05 + 0,55 + 0,05 + 0,1 + 0,1 + 0,05 = 1,2s$$

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{TRANSPORT}}{RTT} = \frac{600}{1,2} = 500 \text{ Byte/s}$$

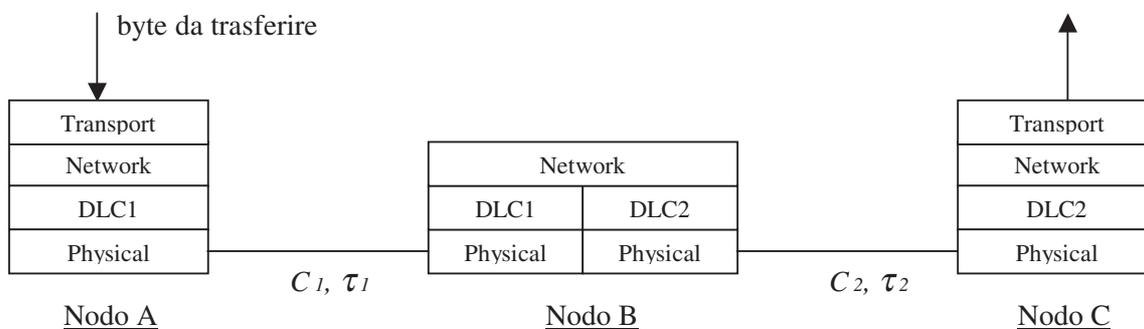
Il nuovo  $C_{sistema}$  è leggermente minore a causa dell'overhead di incapsulamento.

### 3° punto:

Se i canali di trasmissione fossero *half-duplex* non cambierebbe nulla perché il protocollo confermato è di tipo *Stop-and-Wait* e quindi non si ha una sovrapposizione tra le PDU-DATI e le PDU-ACK.

## Esercizio 9 (Appello del 25/02/2003)

Sia data la rete indicata in figura (il sistema è privo di errori) dove il nodo B, avente buffer di dimensione infinita, commuta le PDU di livello 3 con modalità *store-and-forward* con  $\tau_{forwarding} = 0$ .



Caratteristiche dei canali di trasmissione (entrambi *full-duplex*):

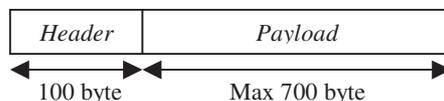
$$C_1 = 16000 \text{ bps} \quad \tau_1 = 75 \text{ ms}$$

$$C_2 = \text{da determinare} \quad \tau_2 = 200 \text{ ms}$$

Caratteristiche dei protocolli di comunicazione:

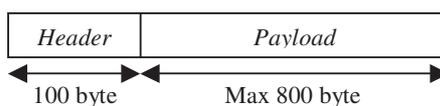
Il livello **Transport** utilizza un protocollo **non confermato**:

PDU-DATI:



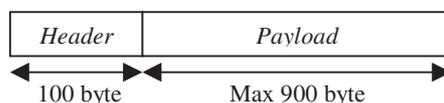
Il livello **Network** utilizza un protocollo **non confermato**:

PDU-DATI:



I livelli **DLC1** e **DLC2** utilizzano un protocollo **non confermato**

PDU-DATI:



**Domande:**

(Disegnare gli schemi temporali di trasferimento dei messaggi giustificando sempre ogni espressione analitica riportata)

1. Calcolare il bit-rate  $C_2$  affinché la capacità del sistema ( $C_{SISTEMA}$ ) sperimentata al di sopra del livello Transport sia pari a 350 Byte/s.

2. Utilizzando il valore  $C_2$  calcolato al punto 1, supponendo che la dimensione massima del Payload del protocollo DLC1 sia pari a 500 byte anziché 900 byte e sapendo che il protocollo di livello Network supporta la frammentazione (nello stile IPv4), calcolare la capacità del sistema ( $C_{SISTEMA}$ ) sperimentata al di sopra del livello Transport.

Mettendosi nelle ipotesi del punto 2, calcolare la capacità del sistema ( $C_{SISTEMA}$ ) nel caso in cui  $\tau_2 = 100 \text{ ms}$  anziché  $\tau_2 = 200 \text{ ms}$ .

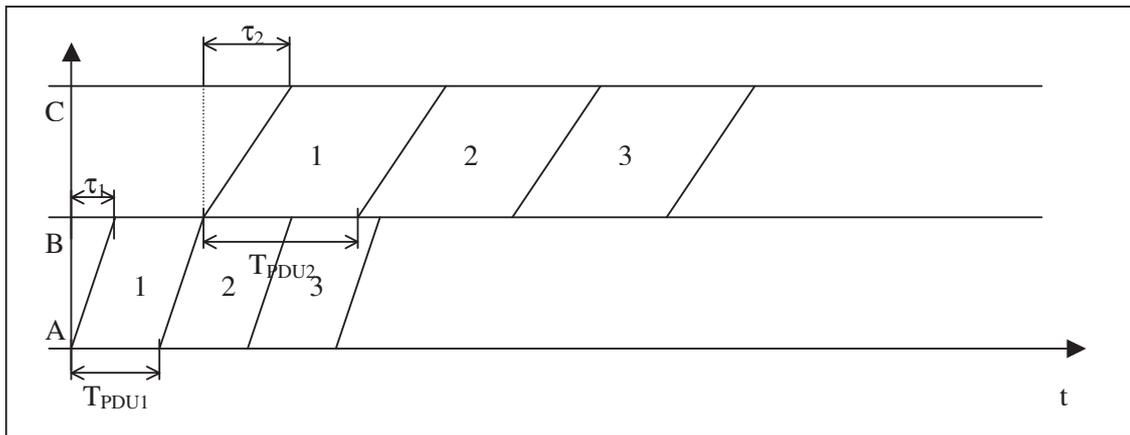
— . — . —

## Soluzione

$$C_1 = 2000 \text{ byte/sec} \quad \tau_1 = 0,075 \text{ sec} \quad \tau_2 = 0,2 \text{ sec}$$

### 1° punto

Suppongo che  $C_2 < C_1$  (quindi  $T_{PDU2} > T_{PDU1}$ ), poiché  $C_{SISTEMA}$  dipende dalla capacità del link più lento, si avrà:



$$C_{sistema} = \frac{Payload_{Tr}}{T_{PDU2}}$$

sapendo che:

$$T_{PDU2} = \frac{H_{DLC2} + P_{DLC2}}{C_2}$$

si ottiene:

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{Tr}}{T_{PDU2}} = \frac{Payload_{Tr}}{H_{DLC2} + P_{DLC2}} \cdot C_2 = 350 \text{ byte/sec}$$

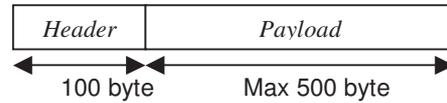
$$C_2 = \frac{H_{DLC2} + P_{DLC2}}{Payload_{Tr}} \cdot C_{sistema} = \frac{100 + 900}{700} \cdot 350 = 500 \text{ byte/sec}$$

tale valore è accettabile in quanto rispetta l'ipotesi:  $C_2 < C_1$

## 2° punto

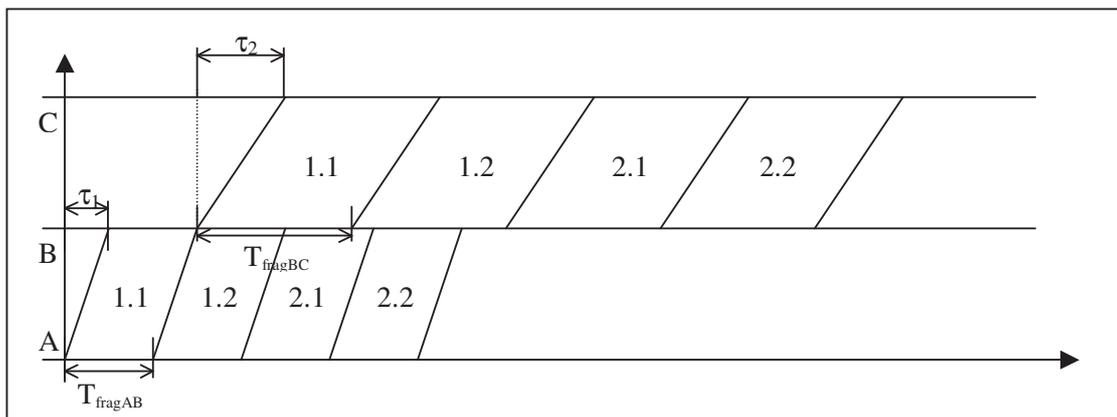
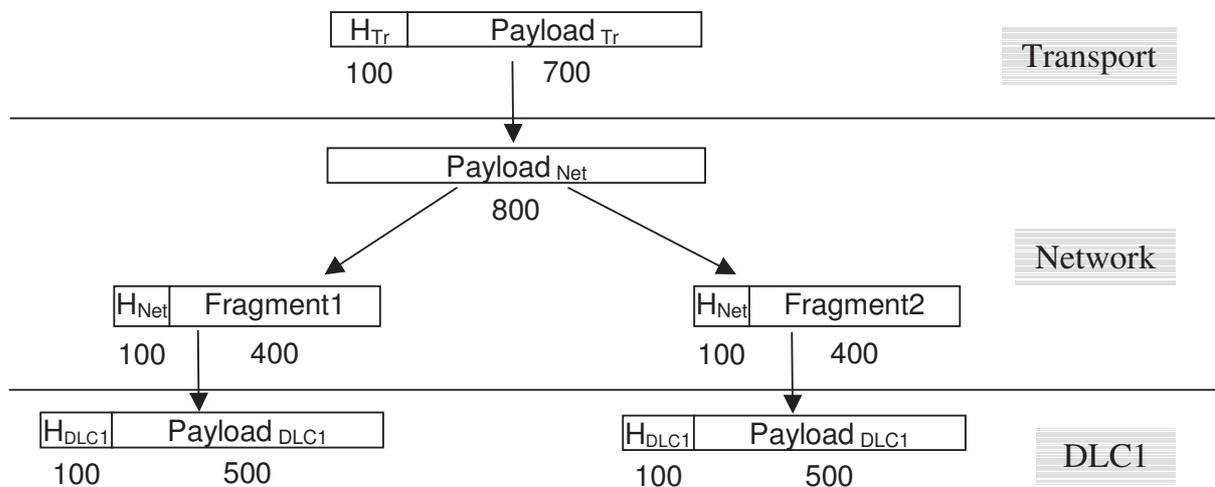
Il livello **DLC1** utilizza un protocollo **non confermato**

PDU-DATI:



Il livello Network esegue la frammentazione sul nodo mittente, sul nodo destinatario il livello Network corrispondente compierà l'operazione opposta di deframmentazione.

Qui di seguito è illustrata la modalità con cui il livello Network del nodo A esegue l'operazione di frammentazione:



Il tempo che un frammento impiega per andare dal nodo mittente A al nodo intermedio B è calcolato secondo la formula:

$$T_{fragAB} = \frac{H_{DLC1} + P_{DLC1}}{C_1} = \frac{100 + 500}{2000} = 0,3 \text{ sec}$$

similmente:

$$T_{fragBC} = \frac{H_{DLC2} + P_{DLC2}}{C_2} = \frac{100 + 500}{500} = 1,2 \text{ sec}$$

Siccome  $T_{fragBC} > T_{fragAB}$  è il canale 2 che condiziona il ritmo di arrivo delle PDU, pertanto calcolo  $C_{sistema}$  come:

$$C_{sistema} = \frac{Payload_{Tr}}{T_{PDU2}} = \frac{Payload_{Tr}}{2 \cdot T_{fragBC}} = \frac{700}{2 \cdot 1,2} = 291,67 \text{ byte/sec}$$

### 3° punto

Poiché tutti i protocolli utilizzati dal sistema in esame non prevedono traffico di feedback (sono protocolli di comunicazione non confermati), la capacità del sistema sperimentata al di sopra del livello Transport risulta indipendente dai ritardi dei canali di trasmissione.

Pertanto una variazione del ritardo  $\tau_2$  sul canale che collega il nodo B al nodo C non comporta una variazione della  $C_{SISTEMA}$  rispetto al risultato ottenuto al punto precedente.