

**Prova di Esame – Fondamenti di Telecomunicazioni**  
**Mercoledì 24 giugno, ore 09.00**

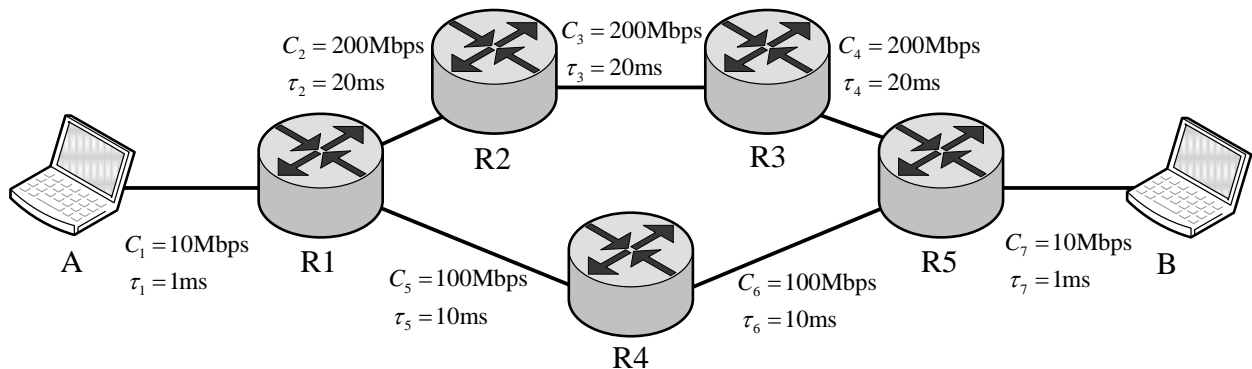
Cognome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Matricola: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

**Domanda 1:** Si consideri la rete di figura. Il nodo A deve trasmettere al nodo B un file di 1Mbyte.



Nell'ipotesi che all'istante di inizio della trasmissione le code di tutti i nodi siano vuote, che il tempo di elaborazione sia trascurabile, che non si verifichino errori e che si utilizzi un controllo di flusso di tipo Go-Back-N (GBN), determinare:

- La dimensione della finestra di trasmissione necessaria a supportare la trasmissione continua ammesso di utilizzare pacchetti di 1000 byte che includono un overhead di 40 byte e la rotta A-R1-R4-R5-B
- Nelle ipotesi del punto a), il tempo necessario al completamento del trasferimento
- Ammesso di utilizzare la rotta A-R1-R2-R3-R5-B e la stessa dimensione della finestra di trasmissione individuata al punto a), il tempo necessario al completamento del trasferimento

- Il protocollo di controllo di flusso viene applicato direttamente tra i nodi A e B, in quanto i router si occupano solo dell'inoltro dei datagrammi. Il tempo di ciclo della comunicazione tra A e B, nell'ipotesi di percorso A-R1-R4-R5-B e code vuote è dato da

$$RTT_{AB} = L_f \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_6} + \frac{1}{C_7} \right) + \tau_1 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7 + T_{p1} + T_{p4} + T_{p5} + T_{pB} +$$

$$+ L_a \left( \frac{1}{C_7} + \frac{1}{C_6} + \frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_1} \right) + \tau_7 + \tau_6 + \tau_5 + \tau_1 + T_{p5} + T_{p4} + T_{p1} + T_{pA}$$

Con l'ipotesi che i tempi di processing e la durata degli ACK siano trascurabili risulta

$$RTT_{AB} \cong L_f \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_6} + \frac{1}{C_7} \right) + 2(\tau_1 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7) = 45.8[\text{ms}]$$

Affinché la trasmissione sia continua deve essere  $W_s L_f / C_1 \geq RTT_{AB}$  dove per il calcolo della durata del frame si fa riferimento al link più lento. Risulta  $W_s \geq 57.2$  quindi, volendo lavorare con modulo di numerazione potenza di due, si sceglie  $W_s = 63$ .

- Per calcolare il tempo necessario al completamento del trasferimento occorre calcolare il numero di pacchetti che è necessario trasmettere. Poiché ciascun pacchetto da 1000 byte trasporta 960 byte di *payload* e 40 byte di overhead, il numero di pacchetti da trasmettere è  $N_{\text{pkt}} = \lceil 10^6 / 960 \rceil = 1042$ , di cui 1041 pacchetti da 960 (+40) byte e l'ultimo pacchetto da  $10^6 - 1041 \cdot 960 = 640$  (+40) byte.

Il tempo necessario al completamento del trasferimento (inclusa la ricezione dell'ultimo ACK da parte del nodo A) risulta

$$T_{\text{tot}} = RTT_{\text{AB}} + (N_{\text{pkt}} - 2)L_f / C_1 + L_f^{\text{last}} / C_1 \cong 878[\text{ms}]$$

- c) Nel caso che il percorso seguito dai datagrammi sia A-R1-R2-R3-R5-B, e sempre con code vuote, il tempo di ciclo risulta

$$RTT_{\text{AB}} \cong L_f \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_7} \right) + 2(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_7) = 125.7[\text{ms}]$$

In questo caso per avere la trasmissione continua occorrerebbe una finestra di trasmissione di 255 (con modulo di numerazione potenza di due), pertanto con la dimensione di finestra individuata al punto a) non è possibile la trasmissione continua.

Per ciascun tempo di ciclo il nodo A riesce ad inviare un numero di pacchetti pari alla dimensione della finestra di trasmissione, pertanto per determinare la durata del trasferimento occorre considerare il numero di cicli richiesto.

Si ha

$$N_{RTT} = \left\lceil \frac{1042}{63} \right\rceil = 17$$

Nell'ultimo ciclo vengono trasmessi  $1042 - 16 \cdot 63 = 34$  pacchetti (di cui l'ultimo da 640+40 byte), pertanto il trasferimento ha una durata complessiva data da

$$T_{\text{tot}} = N_{RTT} RTT_{\text{AB}} + (34 - 2)L_f / C_1 + L_f^{\text{last}} / C_1 \cong 2.16[\text{s}]$$

**Domanda 2:** Si consideri una rete di tipo broadcast con  $M$  nodi sincronizzati (e pertanto il tempo è suddiviso in slot), in cui ciascun nodo tenta la trasmissione, quando percepisce libero il mezzo trasmissivo, con probabilità pari a  $p$ . Si determini:

- La probabilità che nessun nodo trasmetta in un dato slot (ovvero il mezzo resti inutilizzato in quello slot)
- La probabilità che solo uno dei nodi trasmetta in un dato slot (ovvero la trasmissione da parte di quel nodo abbia successo)
- Il numero medio di tentativi di trasmissione che ciascun nodo dovrà effettuare per trasmettere con successo un frame

- La probabilità che un nodo non trasmetta è pari a  $1 - p$ . La probabilità che  $M$  nodi indipendenti non trasmettano è data da  $(1 - p)^M$
- La probabilità che un dato nodo trasmetta e tutti gli altri  $M - 1$  non trasmettano è data da  $p(1 - p)^{M-1}$ . Poiché il numero di nodi è pari ad  $M$  la probabilità che uno qualsiasi dei nodi trasmetta mentre gli altri non trasmettano è data da  $Mp(1 - p)^{M-1}$
- Un nodo dovrà ritentare la trasmissione qualora si verifichi una collisione. Una collisione si verifica quando due (o più) nodi tentano la trasmissione contemporaneamente, ovvero è l'evento complementare al fatto che nessun nodo o solo un nodo tenti la trasmissione. Si ha quindi

$$\Pr\{\text{collisione}\} = 1 - (1 - p)^M - Mp(1 - p)^{M-1} = p_{\text{coll}}$$

La probabilità che un nodo riesca a trasmettere con successo all' $i$ -esimo tentativo è data da

$$\Pr\{\text{successo all } i\text{-esimo tentativo}\} = p_{\text{coll}}^{i-1} (1 - p_{\text{coll}})$$

Pertanto il numero medio di tentativi per trasmettere con successo è dato da

$$\begin{aligned} E[i] &= \sum_{i=1}^{\infty} i \Pr\{\text{successo all } i\text{-esimo tentativo}\} = \sum_{i=1}^{\infty} i p_{\text{coll}}^{i-1} (1 - p_{\text{coll}}) = \\ &= (1 - p_{\text{coll}}) \frac{d}{dp_{\text{coll}}} \sum_{i=1}^{\infty} p_{\text{coll}}^i = (1 - p_{\text{coll}}) \frac{d}{dp_{\text{coll}}} \left( \frac{1}{1 - p_{\text{coll}}} - 1 \right) = \frac{1}{1 - p_{\text{coll}}} \end{aligned}$$

**Domanda 3:** Un moltiplicatore statistico dispone di  $M$  canali TDM condivisi tra  $N$  sorgenti indipendenti caratterizzate da una *burstiness* pari a  $p$ . La burstiness è la frazione di tempo durante la quale la sorgente è attiva  $p = T_{\text{on}} / (T_{\text{on}} + T_{\text{off}})$ . Trovare l'espressione della probabilità che il numero di sorgenti contemporaneamente attive superi la capacità condivisa.

La probabilità che una sorgente sia attiva è pari a  $p$ . La probabilità che  $k$  sorgenti su  $N$  siano contemporaneamente attive (e le restanti  $N - k$  siano inattive) è data da

$$\Pr\{k \text{ sorgenti attive}\} = \binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k}$$

La probabilità che il numero di sorgenti attive superi la capacità disponibile è quindi data da

$$\Pr\{\text{sovraccarico}\} = \begin{cases} 0 & N \leq M \\ \sum_{k=M+1}^N \binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k} & N > M \end{cases}$$

**Domanda 4:** Spiegare il funzionamento del meccanismo di *Framing* (o *Frame Delineation*) basato sul *Character Stuffing* e cosa accade quando il carattere DLE appare nel messaggio.

[Il meccanismo del *Character Stuffing* è spiegato sui trasparenti relativi alle lezioni 03\_data\_link p.8-10]  
 Il meccanismo di *Framing* mediante *Character* (o *Byte*) *Stuffing* consiste nel delimitare l'inizio ed il termine della trama con dei byte identificativi (STX e ETX) preceduti da un byte di *Escape DLE*. Quando i byte STX ed ETX appaiono nella sequenza di byte da trasmettere non è necessario fare nulla. Viceversa quando nella sequenza da trasmettere appare il byte DLE, per indicare che non si tratta di una sequenza particolare si duplica il byte (quindi il byte DLE viene sostituito dalla coppia di byte DLE DLE).