

**Prova di Esame – Fondamenti di Telecomunicazioni**  
**Lunedì 15 giugno 2015, ore 09.00**

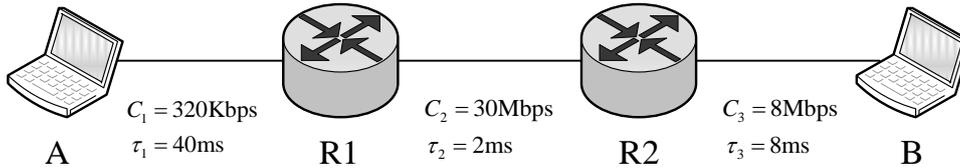
Cognome: \_\_\_\_\_

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

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

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

**Domanda 1:** Si consideri la rete di figura. All'istante  $t = 0$  il nodo A trasmette un pacchetto di 100 byte al nodo B.



Determinare:

- Nell'ipotesi che le code di trasmissione di tutti i nodi siano vuote, che il tempo di elaborazione sia trascurabile e che non si verifichino errori, il diagramma degli eventi e l'istante al quale il pacchetto viene completamente ricevuto dalla destinazione
- Nell'ipotesi che il collegamento tra i due router presenti una probabilità di perdita non nulla, che venga impiegato un meccanismo di ritrasmissione di tipo STOP & WAIT e che il timeout di ritrasmissione sia quello minimo, trovare una espressione per il ritardo complessivo in funzione del numero  $k \geq 0$  di ritrasmissioni
- Nelle ipotesi del punto b), il valore atteso ed il valore più probabile del ritardo di trasmissione nel caso in cui la probabilità di errore sia pari rispettivamente al 10%, 20% e 50%

- L'istante al quale termina la trasmissione dal nodo A è  $T_{f1} = L_f / C_1$ ; l'istante al quale termina la ricezione al nodo R1 è  $T_{f1} + \tau_1$ ; l'istante al quale termina la trasmissione dal nodo R1 è  $T_{f1} + \tau_1 + T_{f2}$  con  $T_{f2} = L_f / C_2$ ; l'istante al quale termina la ricezione al nodo R2 è  $T_{f1} + \tau_1 + T_{f2} + \tau_2$  e quello al quale termina la trasmissione dal nodo R2 è  $T_{f1} + \tau_1 + T_{f2} + \tau_2 + T_{f3}$  con  $T_{f3} = L_f / C_3$ ; infine l'istante al quale termina la ricezione al nodo B è  $T_{AB} = T_{f1} + \tau_1 + T_{f2} + \tau_2 + T_{f3} + \tau_3 = 52.6$  [ms].
- Il timeout minimo che evita ritrasmissioni non necessarie è quello corrispondente al tempo di ciclo (RTT) tra i nodi R1 ed R2:  $RTT_{12} = T_{f2} + \tau_2 + T_{p2} + T_{a2} + \tau_2 + T_{p1} \cong T_{f2} + 2\tau_2$  (trascurando la durata dell'ACK ed i tempi di elaborazione). Se  $k = 0$  non ci sono ritrasmissioni ovvero non si verificano errori e si ha che il ritardo complessivo è quello ottenuto al punto a). Se  $k \neq 0$  si deve aggiungere a questo tempo un numero  $k$  di RTT tra i nodi R1 ed R2

$$T_{AB}(k) = T_{f1} + \tau_1 + T_{f2} + \tau_2 + T_{f3} + \tau_3 + k(T_{f2} + 2\tau_2) = 52.63 + 4.03k \text{ [ms]}$$

- Il valore atteso si determina calcolando la somma

$$\begin{aligned} E[T_{AB}(k)] &= \sum_{k=0}^{\infty} p^k (1-p) T_{AB}(k) = \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} p^k (1-p) (52.63 + 4.03k) = 52.63 + 4.03 \frac{p}{1-p} \text{ [ms]} \end{aligned}$$

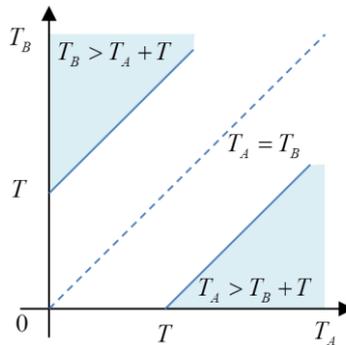
Il valore più probabile è sempre il ritardo corrispondente a  $k = 0$ , in quanto la probabilità di  $k$  ritrasmissioni, pari a  $p^k (1-p)$ , è strettamente decrescente con  $k$ .

**Domanda 2:** Si considerino due sorgenti A e B che operano secondo il protocollo Aloha. All'istante  $t=0$  entrambe le sorgenti sono inattive. Nell'ipotesi che le sorgenti emettano il prossimo pacchetto, avente durata pari a  $T$ , dopo un ritardo casuale pari rispettivamente a  $T_A$  e  $T_B$  aventi la stessa distribuzione esponenziale data da

$$f_{T_A}(x) = f_{T_B}(x) = \lambda e^{-\lambda x} u(x)$$

determinare la probabilità che i due pacchetti trasmessi non collidano.

Le stazioni non collidono se i tempi  $T_A$  e  $T_B$  sono sufficientemente distanti, ovvero se  $T_A > T_B + T$  o  $T_B > T_A + T$ . Gli eventi sono rappresentati in figura



La probabilità di non collisione è quindi data da

$$\Pr\{|T_A - T_B| > T\} = \int_0^\infty \int_{x+T}^\infty f_{T_A T_B}(x, y) dy dx + \int_T^\infty \int_0^{x-T} f_{T_A T_B}(x, y) dy dx$$

dove la densità di probabilità congiunta dei due tempi di emissione, ipotizzati indipendenti risulta

$$f_{T_A T_B}(x, y) = f_{T_A}(x) f_{T_B}(y) = \lambda e^{-\lambda x} u(x) \lambda e^{-\lambda y} u(y)$$

e la probabilità richiesta risulta

$$\begin{aligned} \Pr\{|T_A - T_B| > T\} &= \int_0^\infty \int_{x+T}^\infty \lambda^2 e^{-\lambda x} e^{-\lambda y} dy dx + \int_T^\infty \int_0^{x-T} \lambda^2 e^{-\lambda x} e^{-\lambda y} dy dx = \\ &= \lambda \int_0^\infty e^{-\lambda(2x+T)} dx + \lambda \int_T^\infty e^{-\lambda x} - e^{-\lambda(2x-T)} dx = e^{-\lambda T} \end{aligned}$$

**Domanda 3:** Si consideri un link in fibra ottica punto a punto bidirezionale caratterizzato da una velocità di collegamento di 40Gbps in entrambe le direzioni ed una distanza di 200Km.

- Nell'ipotesi di *volere* utilizzare un protocollo di controllo di errore di tipo *Selective Repeat* (SR), determinare la cardinalità minima dell'insieme dei numeri di sequenza necessaria a supportare la trasmissione senza interruzioni ammesso che la dimensione dei pacchetti sia pari a 1000 byte
- Quanta memoria occorre in ciascuno dei nodi, per supportare la strategia del punto a)?

- In fibra ottica, così come nei cavi, la velocità di propagazione è  $v = 2 \cdot 10^8$  [m/s], pertanto il ritardo di propagazione è pari a  $\tau = 1$  [ms]. Trascurando la durata dell'ACK ed i tempi di elaborazione, il tempo di ciclo (RTT) risulta  $RTT = L_f / C + 2\tau \cong 2$  [ms]. Per supportare la trasmissione continua è necessario che la finestra di trasmissione sia più grande del numero di pacchetti per i quali non è ancora stata ricevuta la conferma (ACK), che coincide con il numero di pacchetti che è possibile trasmettere in un RTT. Si ha quindi

$$W_s \geq (T_f + 2\tau) / T_f = 1 + 2\tau C / L_f = 10001 \cong 10^4$$

Infine, poiché nel Selective Repeat si sceglie  $W_s = W_r = N / 2$ , si ha che il valore minimo richiesto (in assenza di errori) è  $N \cong 2 \cdot 10^4$ . Volendo lavorare con potenze di due, l'esponente è  $b = 15$  corrispondente ad  $N = 32768$ .

- b) Occorre potere memorizzare un numero di pacchetti pari alla dimensione della finestra, pertanto occorrono buffer di almeno 10MBytes.

**Domanda 4:** Spiegare per quale ragione nel protocollo di controllo di flusso *Go-Back-N* (GBN) l'apertura  $W_s$  della finestra di trasmissione non può superare  $N-1$  (dove  $N$  è il numero di valori distinti che può assumere il numero di sequenza).

*[l'argomento è spiegato a p.111 del testo di riferimento]*

Si spiega in modo semplice con un esempio: ammesso che il ricevitore attenda un pacchetto con numero di sequenza 0 e che non si siano verificati errori, con  $W_s = N$  il trasmettitore potrebbe trasmettere i pacchetti con numero di sequenza da 0 ad  $N-1$ .

Se tutti i pacchetti trasmessi andassero persi, allo scadere del timeout il ricevitore invierebbe al trasmettitore la richiesta di ritrasmissione indicando di trovarsi nello stato in cui il prossimo pacchetto atteso è quello con numero di sequenza 0.

Questo messaggio verrebbe interpretato dal trasmettitore come una indicazione che tutti i pacchetti sono stati ricevuti correttamente, mentre sono andati tutti persi!