

Reti di Telecomunicazione

Prof. Stefano Bregni

V Appello d'Esame 2025-26 – 4 settembre 2026

Cognome e nome:

(stampatello)
(firma leggibile)

Matricola:

NB: In ogni esercizio, ogni risposta non giustificata adeguatamente, anche con pochissime parole, avrà valore nullo.

Domanda 1

(svolgere sul diagramma allegato) (6 punti)

In una connessione TCP è trasferito un file lungo 2120 kbyte a partire dal tempo $t = 0$. Si assuma che:

- TCP Maximum Segment Size (MSS) = 4 kbyte;
- Round Trip Time (RTT) = 500 ms, costante durante tutto il trasferimento;
- valore base TIMEOUT = 2·RTT; nel caso di TIMEOUT scaduti consecutivamente, secondo Karn TIMEOUT = 4·RTT dopo 1 pacchetto non riscontrato, TIMEOUT = 8·RTT dopo 2 pacchetti consecutivi non riscontrati, TIMEOUT = 16·RTT dopo 3 o più pacchetti consecutivi non riscontrati;
- Ssthresh($t = 0$) = 64 kbyte;
- RcvWnd($t = 0$) = 128 kbyte; in seguito, il trasmettitore riceve dall'altro host la seguente dichiarazione:
 - RcvWnd($t = 3.00$ s) = 24 kbyte;
 - RcvWnd($t = 4.50$ s) = 128 kbyte;
 - RcvWnd($t = 13.00$ s) = 16 kbyte;
 - RcvWnd($t = 17.00$ s) = 128 kbyte;
- CWND($t = 0$) = 1 MSS;
- il trasferimento dei pacchetti in rete avviene senza errori o perdite; la capacità di trasmissione è abbastanza grande da rendere il tempo di trasmissione dei pacchetti trascurabile rispetto a RTT;
- il ricevitore riscontra immediatamente i segmenti ricevuti;
- la rete va fuori servizio negli intervalli di tempo aperti $t = (9.00 \text{ s}, 9.50 \text{ s})$, $t = (21.00 \text{ s}, 21.50 \text{ s})$, $t = (23.50 \text{ s}, 26.00 \text{ s})$;
- vengono trasmessi segmenti di lunghezza MSS; se SNDWND non è multiplo intero di MSS, si arrotondi il numero di segmenti trasmessi all'intero più vicino;
- la procedura di *congestion avoidance* abbia luogo per $\text{CWND} \geq \text{Ssthresh}$.

Si tracci sul foglio allegato l'andamento nel tempo di CWND e SNDWND usando la notazione specificata in legenda. Si determinino in particolare:

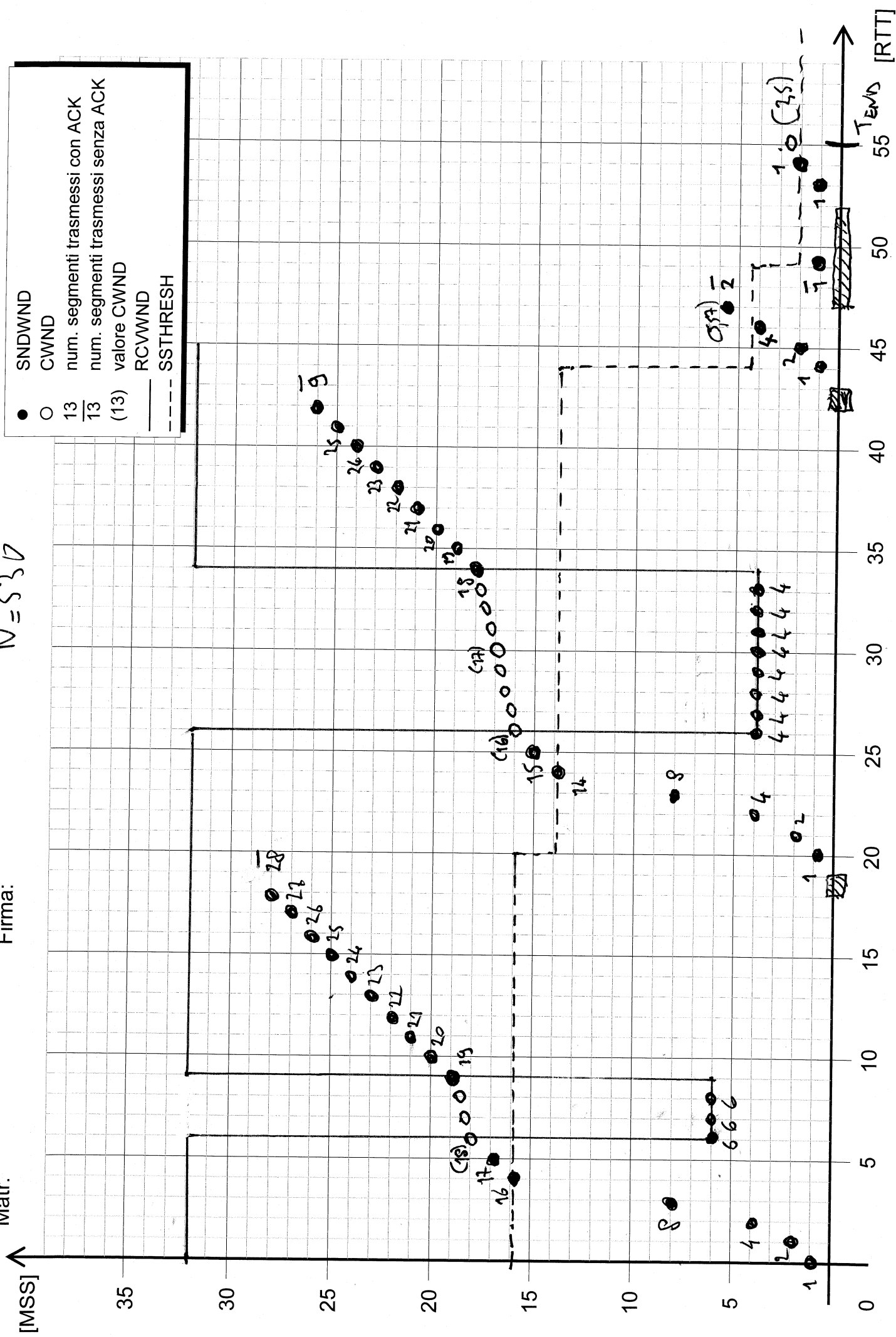
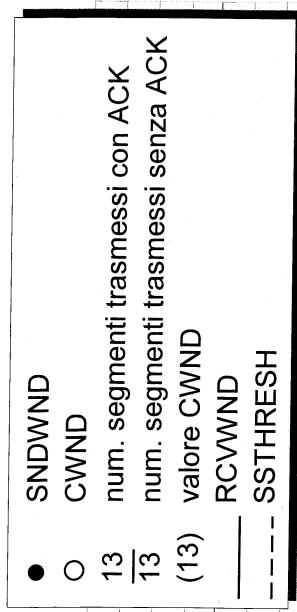
- il tempo totale di trasferimento del file T_{END} [s] (dall'inizio della trasmissione del primo pacchetto alla ricezione dell'ultimo ACK);
- i valori di CWND quando diversi da SNDWND (anche per $t = T_{\text{END}}$);
- il numero di segmenti trasmessi ad ogni intervallo, specificando se ne vengono ricevuti gli ACK o no;
- i valori assunti da Ssthresh durante il trasferimento.

Cognome e nome:

Matr.

Firma:

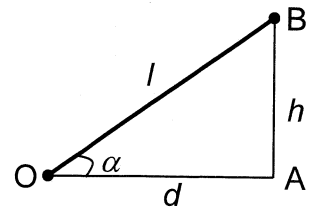
$N = 530$



Domanda 2

(svolgere su questo foglio nello spazio assegnato) (6 punti)

Un aereo B al decollo, dopo la rotazione iniziale, si stacca dal suolo nel punto O e si innalza secondo una traiettoria rettilinea con angolo di salita $\alpha = 15^\circ$ rispetto all'orizzontale, come rappresentato in figura. Sia h l'altezza AB dell'aereo dal suolo, d la distanza sul terreno percorsa dall'aereo tra O e la verticale AB, l la distanza di volo tra l'aereo B e il punto O.



L'aereo B trasmette dati a una stazione base sita in O attraverso un sistema di trasmissione radio che fornisce un canale libero da errori, eccetto quando diversamente indicato, di capacità $C = 50$ Mbit/s.

Il protocollo di livello 2, che controlla la trasmissione delle trame su questo collegamento, sia così caratterizzato:

- pacchetti dati di dimensione fissa L_D , consistenti in 80 byte di carico utile e 20 byte di overhead;
- pacchetti di riscontro (ACK) di dimensione fissa $L_A = 20$ byte;
- tempo di elaborazione pacchetto dati da parte della stazione ricevente (tempo che intercorre tra la ricezione di un pacchetto dati e la trasmissione dell'ACK) trascurabile;
- tempo di elaborazione pacchetto ACK da parte della stazione ricevente (tempo che intercorre tra la ricezione di un pacchetto ACK e la trasmissione del pacchetto dati successivo) trascurabile.

Il protocollo sia di tipo *selective repeat*, con riscontri positivi e negativi (ACK e NACK), con dimensione delle finestre di trasmissione e ricezione pari a $W = 12$ pacchetti dati e Time Out di ritrasmissione $TO = 500 \mu s$ (il trasmettitore interpreta come NACK lo scadere del TO senza che sia ricevuto l'ACK).

Nell'ipotesi che l'aereo proceda mantenendo l'angolo di salita costante, si calcoli la velocità effettiva di trasferimento dei dati (incluso overhead) all'aumentare dell'altezza h dal suolo per $0 \text{ km} \leq h \leq 10 \text{ km}$ e se ne tracci l'andamento nel grafico sottostante. Calcolare il valore limite di h per cui la trasmissione diventa discontinua (se ciò avviene) e il valore limite di h per cui il Time Out diventerebbe insufficiente.

$$\text{Throughput (h = 0 km)} = 50 \text{ Mb/s}$$

$$\text{Throughput (h = 10 km)} = 34,68 \text{ Mb/s}$$

$$\text{Trasmissione continua per } h < 6,71 \text{ km} \text{ oppure } h > \dots$$

$$\text{Time Out} = 500 \mu s \text{ insufficiente per } h < \dots \text{ oppure } h > 19,287 \text{ km}$$

$$T_A = 3,2 \mu s$$

$$T_D = 16 \mu s$$

$$l = h / \sin \alpha \quad z = l/c$$

$$TX \text{ cont. se } 2z + T_A \leq 11 T_D$$

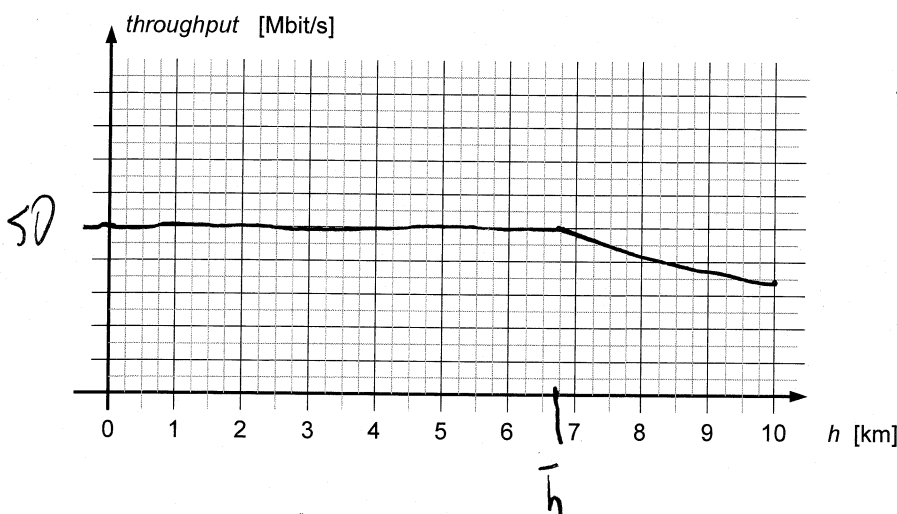
$$\Rightarrow z \leq 86,4 \mu s$$

$$l \leq 25,920 \text{ km}$$

$$h \leq 6,7086 \text{ km (h)}$$

$$TO \text{ insuff. se } TO < 2z + T_A$$

$$\Rightarrow h > 19,287 \text{ km}$$



$$THR(h=10 \text{ km}) =$$

$$= \frac{12 T_D}{2z + T_A + T_D} = 34,68 \text{ Mb/s}$$

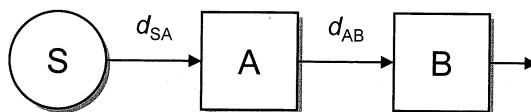
$$z(h=10 \text{ km}) = 128,8 \mu s$$

Cognome e nome:*(stampatello)**(firma leggibile)***Matricola:**

Domanda 3

(svolgere su questo foglio nello spazio assegnato) (5 punti)

Si consideri il sistema in figura, dove la sorgente S invia dati al nodo A, il quale a sua volta li inoltra al nodo B, il quale a sua volta li inoltra a valle.



S è una sorgente di tipo ON-OFF deterministica che alterna regolarmente intervalli di attività di durata costante T_{ON} , durante i quali trasmette segmenti di dati di lunghezza $L = 1.25$ kbyte a frequenza costante P_S , a periodi di inattività di durata costante $T_{OFF} = 40$ ms, per una frequenza media di trasmissione pari a $A_S = 200$ kbit/s.

Il nodo A incapsula ogni segmento ricevuto in pacchetti, costituiti dal segmento stesso (*payload*) di lunghezza L_{PL} più un'intestazione (*overhead*) di lunghezza $L_{OH} = L_{PL}/2$. Il nodo A inoltra i pacchetti a valle verso B trasmettendo alla frequenza $P_A = P_S$. Il nodo B a sua volta inoltra a valle i pacchetti ricevuti da A, trasmettendo a frequenza $P_B = P_A/2$, senza aggiungere ulteriore *overhead*. I nodi A e B iniziano a ritrasmettere ogni pacchetto immediatamente dopo averlo interamente ricevuto (modalità *Store & Forward*), con ritardi di elaborazione trascurabili.

Il collegamento tra S e A è una fibra ottica di lunghezza $d_{SA} = 2000$ km. Il collegamento tra A e B è una fibra ottica di lunghezza $d_{AB} = 4000$ km.

Al tempo $t = 0$, la sorgente S inizia a trasmettere.

- Calcolare l'intervallo di attività della sorgente S: $T_{ON} = 10 \text{ ms}$
- Calcolare la frequenza di trasmissione della sorgente S: $P_S = 1 \text{ Mb/s}$

$$\frac{1.25 \text{ Kbyte}}{T_{ON} + 40 \text{ ms}} = 200 \text{ Kbit/s} \Rightarrow T_{ON} = 10 \text{ ms}$$

$$\tau_{SA} = 10 \text{ ms}$$
$$\tau_{AB} = 20 \text{ ms}$$

$$P_S = \frac{1.25 \text{ Kbyte}}{T_{ON}} = 1 \text{ Mb/s}$$

Cognome e nome:

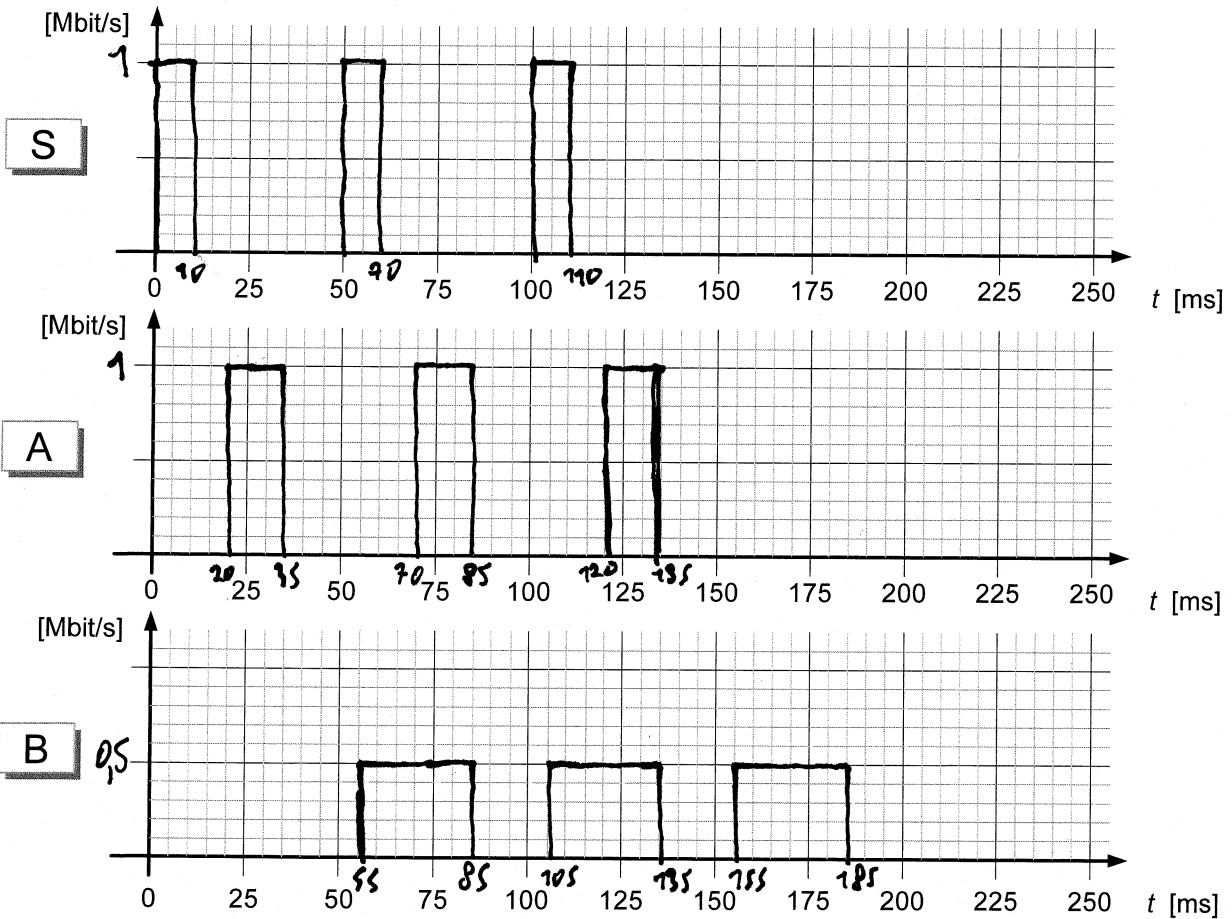
(stampatello)

(firma leggibile)

Matricola:

b) Solo per i primi 3 segmenti trasmessi, disegnare nel grafico sotto:

- la frequenza di trasmissione [Mbit/s] all'uscita della sorgente S in funzione del tempo t [ms] (diagramma S);
- la frequenza di trasmissione [Mbit/s] all'uscita del nodo A in funzione del tempo t [ms] (diagramma A);
- la frequenza di ricezione [Mbit/s] all'uscita del nodo B in funzione del tempo t [ms] (diagramma B).



Domanda 4

(rispondere su questo foglio negli spazi assegnati) (19 punti)

(NB: ogni risposta non giustificata adeguatamente, anche con pochissime parole, avrà valore nullo).

- 1) Spiegare il significato della variabile *Send Window* nel protocollo TCP. A quale scopo il suo valore è calcolato dal trasmettitore come $Send\ Window = \min(Receive\ Window, Congestion\ Window)$? Chi fornisce i valori di *Receive Window* e *Congestion Window*? (3 punti)

- 2) Quali informazioni contiene un *Link State Packet*? Chi lo invia? A chi viene indirizzato? (2 punti)

- 3) N sorgenti con frequenza di picco P trasmettono pacchetti di durata T_1 e con frequenza $1/T_2$ [pacchetti/s]. I pacchetti sono trasmessi a un moltiplicatore statistico con buffer infinito e linea di uscita di capacità $C = 1$ Gbit/s. (3 punti)
- a) Qual è la lunghezza dei pacchetti [bit] se $N = 50$, $P = 100$ Mbit/s, $T_1 = 2\ \mu s$, $1/T_2 = 5000$ pacch/s?
- b) Quanto vale il coefficiente di utilizzo della linea η se $N = 60$, $P = 150$ Mbit/s, $T_1 = 50\ \mu s$, $T_2 = 1$ ms?
- c) Qual è l'intervallo di silenzio T_{OFF} [μs] tra un pacchetto e l'altro se $N = 30$, $P = 15$ Mbit/s, $\eta = 0.15$, $T_1 = 150\ \mu s$?

a) $L = 200\ bit$

b) $\eta = 0.15$

c) $T_{OFF} = 300\ \mu s$

Cognome e nome:

(stampatello)

(firma leggibile)

Matricola:

- 4) In un sistema di indirizzamento IP CIDR, ci è stato assegnato il blocco di indirizzi 8.0.0.0/6. (5 punti)
 Si partizioni il blocco in $N = 32$ sottoreti $/n$.
 Si partizioni la sottorete #20 $/n$ in $M = 4$ (sotto)²reti $/m$.
 Si partizioni la sottorete #22 $/n$ in $P = 64$ (sotto)²reti $/p$.
 Si partizioni la (sotto)²rete #22-2 $/p$ in Q (sotto)³reti $/q$, tali che possano indirizzare almeno 512 host ognuna
- a) Quanto valgono le lunghezze dei prefissi $/n$, $/m$, $/p$, $/q$? Scrivere la maschera in formato decimale delle (sotto)³reti $/q$.

$$/n = /11 \quad /m = /13 \quad /p = /17 \quad /q = /22 \quad 255.255.252.0$$

- b) Si scriva in formato decimale l'indirizzo dell'host #1026 della (sotto)²rete #20-2 $/m$.

$$\underline{00001010.1001101000.00000100.01000010} \quad 10.144.4.2$$

- c) Si scriva in formato decimale l'indirizzo dell'host #257 della (sotto)²rete #22-1 $/p$.

$$\underline{00001010.11010000.10000001.00000001} \quad 10.192.129.1$$

- d) All'indirizzo 10.193.2.0 corrisponde l'host # 512 della (sotto)³ rete # 22 - 2 - 0 / 22

$$\underline{00001010.11010001.00000010.00000000}$$

- e) Quanti host sono indirizzabili dalla rete 11.0.0.0?

$$\underline{00001010.11.00000000.00000000} \quad \#24/n$$

$$2^{24} - 2 = 2097150 \text{ host}$$

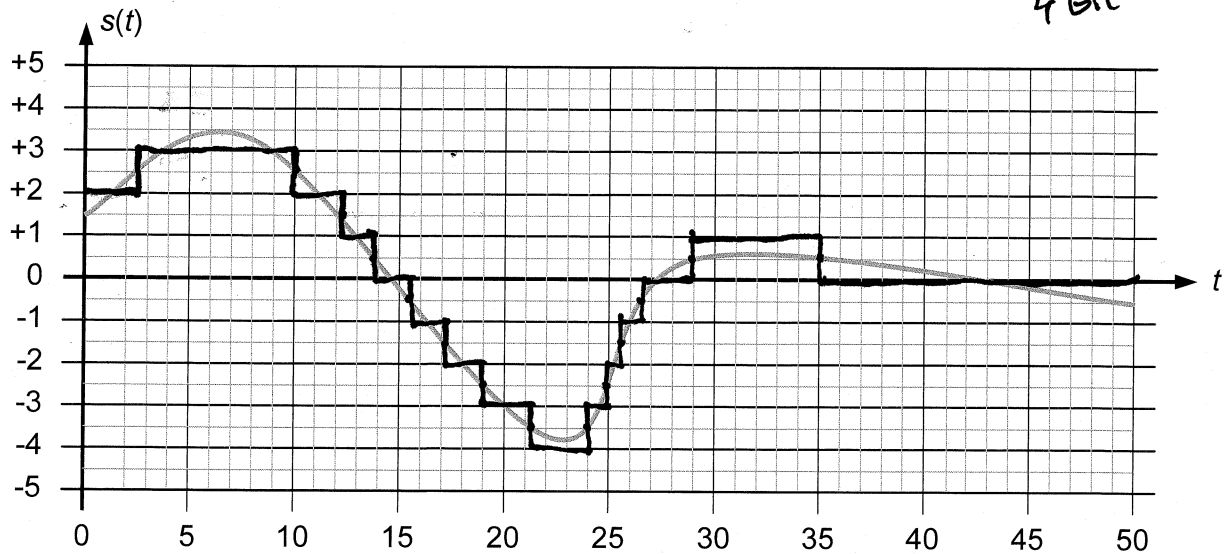
Note:

- tutti gli indirizzi richiesti vanno indicati in formato decimale (scrivere gli indirizzi anche in formato binario è consigliabile per evitare errori);
- tutti gli indirizzi di rete vanno espressi specificando la lunghezza del relativo prefisso $/x$;
- tutte le sottoreti sono numerate a partire da #0.

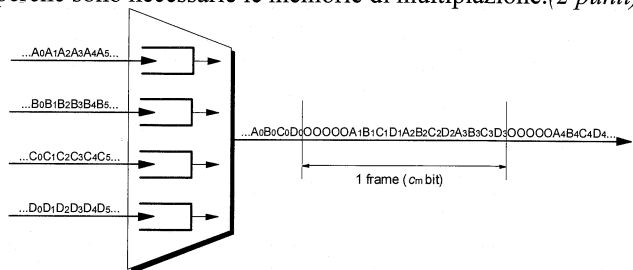
5) Si consideri il segnale $s(t)$ in figura, sottoposto a quantizzazione su 10 livelli oltre lo 0. (2 punti)

- Quanti bit sono necessari per codificare i livelli di questo schema?
- Disegnare sul grafico il segnale $s_Q(t)$ quantizzato sugli 11 livelli numerati da -5 a +5.

4 bit



6) Si descriva il funzionamento di un *multiplatore numerico sincro* di segnali CBR illustrato nello schema in figura. Spiegare qual è la sua funzione, cosa entra, cosa esce, e perché sono necessarie le memorie di moltiplicazione. (2 punti)



Cognome e nome:*(stampatello)**(firma leggibile)***Matricola:**

- 7) Perché il cosiddetto *problema della stazione nascosta* non permette l'utilizzo del CSMA-CD nelle Wireless LAN?
Cosa potrebbe accadere, se utilizzassi il CSMA-CD?

(2 punti)