

Capitolo 3

Reti locali e metropolitane

3.1 Distributed Queue Dual Bus (DQDB)

Esercizio 3.1. Una rete MAN utilizza il protocollo DQDB per collegare un certo numero di stazioni. Quattro di esse, non necessariamente contigue, denominate A , B , C , e D , si trovano alle distanze di n_{AB} , n_{BC} e n_{CD} slot rispettivamente. La stazione B , in posizione intermedia fra A e C , sta trasmettendo un flusso continuo di dati in direzione della stazione C (vedi figura 3.1).

1. Determinare la frequenza di accesso della stazione C alla rete, nel caso essa voglia trasmettere un flusso di dati sincrono in direzione della stazione D , mentre tutte le altre stazioni (esclusa la B) sono inattive.
2. Determinare la frequenza di accesso della stazione A alla rete, nel caso essa voglia trasmettere un flusso di dati sincrono in direzione della stazione D , mentre tutte le altre stazioni (esclusa la B) sono inattive.
3. Proporre una soluzione per rendere più equo il protocollo nelle due situazioni precedenti.

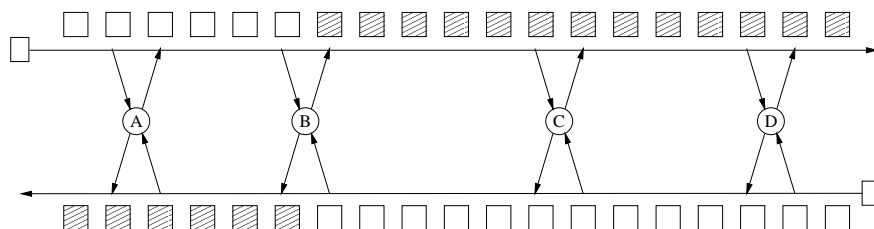


Figura 3.1: Schema della rete DQDB dell'esercizio 3.1

Soluzione. Poiché inizialmente solo la stazione B è attiva, nella sua trasmissione essa riempie tutti gli slot del bus superiore con i dati diretti verso la stazione C, e il bus inferiore con le prenotazioni.

Quando la stazione C vuole trasmettere verso D imposta il bit di prenotazione in uno slot sul bus inferiore, questo slot arriva a B dopo n_{BC} slot, e B lascia uno slot libero sul bus superiore che a sua volta arriva a C dopo altri n_{BC} slot. A questo punto C può trasmettere un pacchetto verso D e una nuova prenotazione sul bus inferiore. Quindi C accede alla rete una volta ogni $2n_{BC}$ slot.

La situazione è ancora peggiore nel caso sia la stazione A a voler trasmettere verso D, infatti essa vede una successione ininterrotta di prenotazioni sul bus inferiore, quindi non può né prenotare né trasmettere niente fino a che la stazione B non ha concluso.

La situazione può essere migliorata imponendo che ogni stazione durante la trasmissione lasci libera una certa percentuale f degli slot che avrebbe a disposizione sia per la trasmissione che per la prenotazione. \square

Esercizio 3.2 (A.A. 1995/96). *Una rete MAN utilizza il protocollo DQDB per collegare dieci stazioni equispaziate. Il ritardo di propagazione fra stazioni adiacenti è 4 slot. Determinare:*

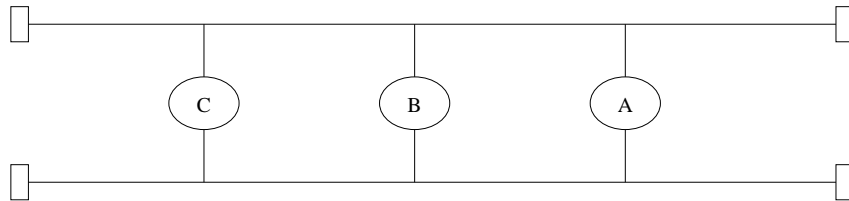
- a) *La frequenza d'accesso alla rete per la stazione n. 3, supponendo che essa voglia trasmettere dati con flusso continuo verso la stazione n. 6 utilizzando il bus superiore quando la stazione n. 2 sta già trasmettendo (con flusso continuo) dati verso la stazione n. 4. (Tutte le altre stazioni sono inattive).*
- b) *La frequenza d'accesso alla rete per la stazione n. 6, supponendo che essa voglia trasmettere dati con flusso continuo verso la stazione n. 3 utilizzando il bus inferiore quando la stazione n. 4 sta già trasmettendo (con flusso continuo) dati verso la stazione n. 2. (Tutte le altre stazioni sono inattive).*

Soluzione.

- a) La stazione 3 prenoterà la trasmissione sul bus inferiore e trasmetterà poi sul bus superiore; poiché la 2 si trova a monte rispetto alla 3 e la loro distanza è pari a 4 slot saranno necessari 4 slot per prenotare e altri 4 affinché lo slot libero arrivi alla 3. Non potendo ogni stazione prenotare più di 1 slot senza averlo utilizzato la frequenza di accesso sarà pari a 1 slot ogni 8.
- b) In questo caso la stazione 2 vede sul bus inferiore tutti gli slot già prenotati dalla stazione 3. Pertanto, in questo caso, la stazione 2 non riesce ad accedere al canale.

\square

Esercizio 3.3 (A.A. 2000/01). È data la rete DQDB di figura. Supponendo che il tempo di propagazione fra ciascuna stazione sia 2 slot, definire il rate di trasmissione (in bit/s) per le stazioni A e B supponendo che tutte le stazioni indicate in figura abbiano traffico da trasmettere di tipo sincrono (con caratteristica di continuità temporale) da inviare in una stessa direzione. Si assuma come capacità del bus 150 Mbit/s.



Soluzione.

Si suppone di trovarsi già in una situazione di regime, ovvero in cui tutte le stazioni possono e stanno trasmettendo. Allora, poiché la distanza fra stazione è pari a 2 slot è facile verificare come

$$f_A = \frac{1}{8}$$

$$f_B = \frac{1}{4}.$$

Essendo la velocità del bus pari a 150 Mbit/s si ha che il rete trasmissivo delle stazioni A e B è pari a:

$$R_A = \frac{150}{8} = 18.75 \text{ Mb/s}$$

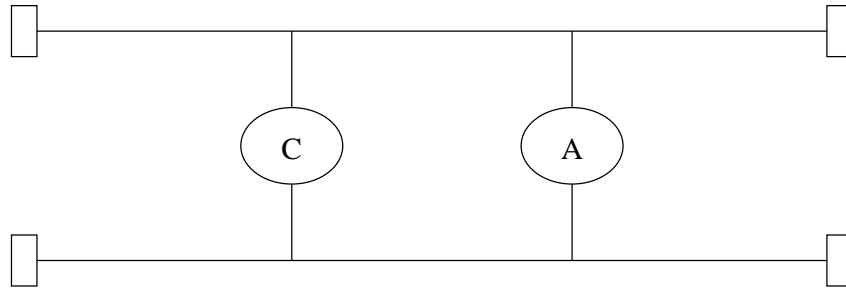
$$R_B = \frac{150}{4} = 37.5 \text{ Mb/s}.$$

□

Esercizio 3.4 (A.A. 2001/02).

È data la rete DQDB di figura. Supponendo che il tempo di propagazione fra le stazioni sia 4 slot, definire:

- il rate di trasmissione (in bit/s) per le stazioni A e C supponendo che tutte le stazioni indicate in figura abbiano traffico da trasmettere di tipo sincrono (con caratteristica di continuità temporale) da inviare in una stessa direzione. Si assuma come capacità del bus 150 Mbit/s e che la stazione A entri quando C sta già trasmettendo;
- il rate di trasmissione per le stesse stazioni, supponendo che A stia trasmettendo quando C entra in attività ed ipotizzando di utilizzare una politica di gestione dell'accesso che non consenta di prenotare due slot consecutivamente.



Soluzione.

- Poiché C sta trasmettendo (si suppone prenotando sul bus inferiore e trasmettendo su quello superiore), A potrà accedere al canale dopo aver prenotato uno slot e dopo che C ne ha lasciato, di conseguenza, uno libero. Pertanto, essendo la distanza fra le due stazioni pari a 4 slot, il rate con cui le due stazioni potranno trasmettere sarà pari a:

$$R_A = \frac{150}{8} = 18.75 Mb/s$$

$$R_B = 150 \frac{7}{8} = 131.25 Mb/s.$$

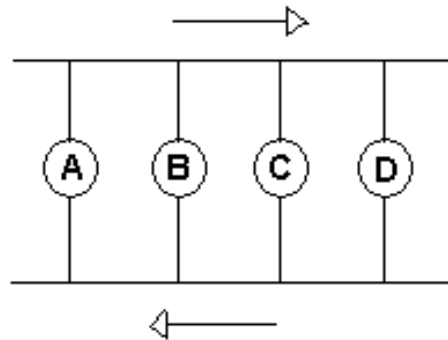
- In condizioni normali, se A sta già trasmettendo, C non potrebbe trasmettere in quanto troverebbe il bus delle prenotazioni completamente occupato. In questo esercizio si ipotizza di fare una modifica al protocollo di accesso per renderlo più equo. Non potendo A prenotare due slot consecutivamente ne lascerà sempre uno libero dopo averne prenotato uno. Pertanto lo slot libero potrà essere utilizzato da C per prenotare e conseguentemente trasmettere.

□

Esercizio 3.5 (A.A. 2002/03 - Nuovo Ordinamento).

In una rete DQDB si considerino le stazioni A, B, C, D, poste come in figura, con una distanza equivalente fra stazioni adiacenti pari a 3 slot. Ipotizzando il terminale B attivo che trasmette con continuità utilizzando il bus superiore e prenota utilizzando il bus inferiore, si discuta separatamente i due seguenti casi:

- trovare la frequenza di accesso della stazione C (si ipotizza che voglia trasmettere in direzione di D)
- trovare la frequenza di accesso della stazione A (si ipotizza che voglia trasmettere in direzione di D)

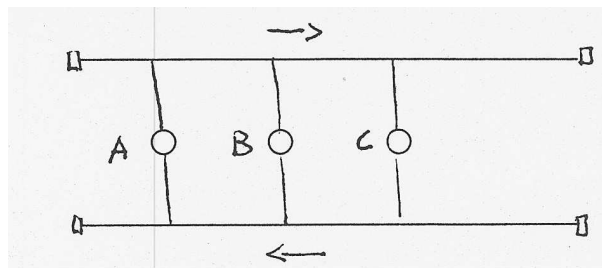


Discutere un metodo di accesso per i casi a) e b) che consenta un accesso equo al canale per le due stazioni di volta in volta attive.

Esercizio 3.6 (A.A. 2002/03 - Previgente Ordinamento).

Per la rete DQDB in figura, il ritardo di propagazione fra il term. A e il term. B è di 4 slot mentre è di 1 slot fra il term. B e term. C. Tutti i terminali una volta diventati attivi hanno da trasmettere traffico con continuità nella stessa direzione (verso un terminale a valle di C), determinare:

- Sapendo che A diventa attivo e trasmette prima di tutti gli altri, successivamente diventa attivo e trasmette B ed infine diventa attivo e trasmette C. Determinare la frazione di banda acquisita da ciascun terminale.
- Ripetere il punto a) supponendo che sia C il primo a trasmettere con continuità seguito da B ed infine A.

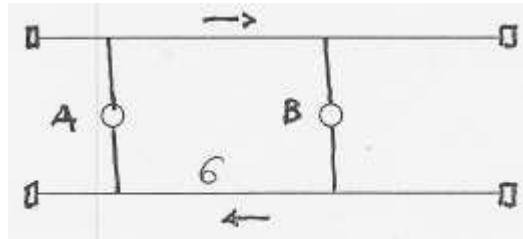


Esercizio 3.7 (A.A. 2003/04 - Previgente Ordinamento).

Per la rete DQDB di figura, il ritardo di propagazione fra il term. A e il term. B è di 6 slot. Entrambi i terminali trasmettono utilizzando il bus superiore. Determinare:

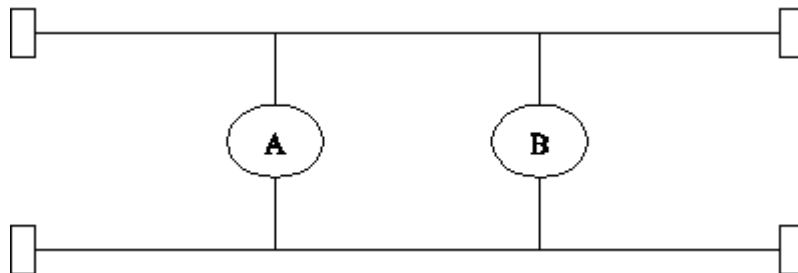
- Sapendo che A diventa attivo prima di B. determinare la frequenza di accesso per i due terminali.

- b) Ripetere il punto a) supponendo che sia B il primo a trasmettere con continuità.
- c) Ripetere i punti a) e b) supponendo che un terminale dopo aver utilizzato due slot consecutivamente sia obbligato a lasciarne uno libero.



Esercizio 3.8 (A.A. 2004/05).

Si consideri una rete DQDB con due stazioni distanti 4 slot, come in figura. Ricordando che per tale tipologia di rete si ha un rate massimo totale pari a $R=150$ Mbit/s, si calcoli il rate di trasmissione delle due stazioni sia nel caso in cui si attivi per prima la stazione A, che nel caso in cui si attivi per prima la stazione B.



3.2 Fibre Distributed Data Interface (FDDI)

Esercizio 3.9. Una rete FDDI collega 4 stazioni. Il traffico sincrono massimo di ciascuna di esse è pari a 2 unità di tempo per ogni interrogazione. Supponendo:

1. che il tempo che intercorre fra il rilascio del token da parte di una stazione e l'inizio della trasmissione da parte della successiva sia pari ad 1 unità, uguale per tutte le stazioni;
2. che le stazioni abbiano sempre traffico asincrono da trasmettere;
3. che le stazioni trasmettano traffico sincrono come segue:

Stazione 1 = 2 unità Stazione 2 = 1 unità
 Stazione 3 = 1 unità Stazione 4 = 2 unità

Illustrare il funzionamento del protocollo durante i primi tre giri del token.

Soluzione. Dopo la fase di negoziazione il valore del TTRT che viene concordato è:

$$TTRT = \sum_{i=1}^4 (S_i + D_i) = 4(2 + 1) = 12$$

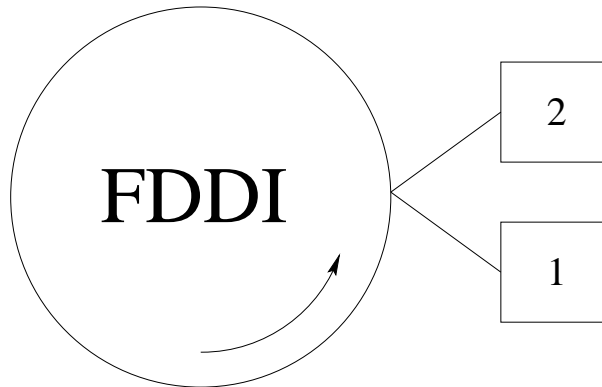
Supponendo che il token venga generato dalla stazione 1 al tempo 0, è possibile calcolare l'evoluzione del protocollo ottenendo i risultati in tabella. Infatti durante il primo giro del token nessuno trasmette perché tale giro serve solo per completare l'inizializzazione. Nei giri successivi le stazioni trasmettono il traffico sincrono ed eventualmente il traffico asincrono.

Stazione	Istante Ricezione token	TRT	TTRT- TRT	Trasm. Traffico Sincrono	Trasm. Traffico Asincrono	Istante Rilascio token
1	0	-	-	0	0	0
2	1	-	-	0	0	1
3	2	-	-	0	0	2
4	3	-	-	0	0	3
1	4	4	8	2	6	12
2	13	12	0	1	0	14
3	15	13	-1	1	0	16
4	17	14	-2	2	0	19
1	20	16	-4	2	0	22
2	23	10	2	1	1	25
3	26	11	1	1	0	27
4	28	11	1	2	0	30
1	31	11	1	2	0	33
2	34	11	1	1	0	35
3	36	10	2	1	1	38
4	39	11	1	2	0	41

□

Esercizio 3.10. *Si consideri una rete FDDI con due stazioni attive: 1 e 2. Entrambe le stazioni, collegate alla fibra come indicato in figura, possono inviare solo traffico asincrono. Supponiamo che le due stazioni operino in condizioni tali da poter trasmettere, ad ogni visita del token, la massima quantità di traffico asincrono consentita dal protocollo MAC FDDI e supponiamo inoltre che non esista l'asynchronous overrun. Assumendo il TTRT pari a 10 ms e la latenza pari a 2 ms, illustrare il funzionamento del protocollo. Sono richiesti:*

- *la tabella relativa alle due stazioni dell'andamento delle temporizzazioni e della quantità di traffico trasmesso;*
- *la capacità del protocollo;*
- *se il protocollo è o meno fair dal punto di vista del throughput.*



Si parta da uno stato iniziale in cui le due stazioni osservano il token e sono scariche. Si supponga che durante la prima rotazione del token le due stazioni vengano saturate con traffico asincrono e in tale condizione rimangano permanentemente.

Soluzione. La tabella sottostante riporta l'evoluzione temporale del protocollo.

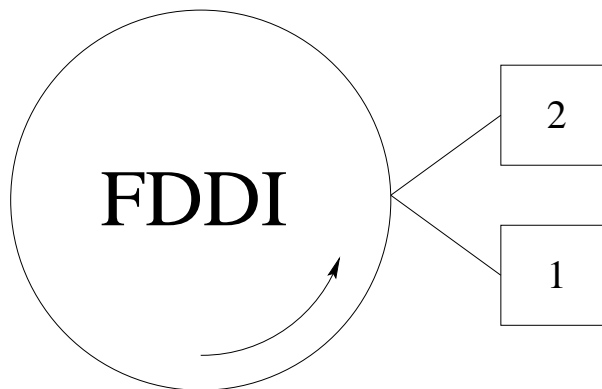
Stazione	Istante Ricezione token	TRT	TTRT-TRT	Trasm. Traffico Sincrono	Trasm. Traffico Asincrono	Istante Rilascio token
1	0	-	-	-	0	0
2	0	-	-	-	0	0
1	2	2	8	-	8	10
2	10	10	0	-	0	10
1	12	10	0	-	0	12
2	12	2	8	-	8	20
1	22	10	0	-	0	22
2	22	10	0	-	0	22

Come si può notare dalla tabella il sistema si comporta in maniera ciclica con periodo pari a 22 ms. In questi 22 ms vi sono stati 16 ms di trasmissione equamente divisi tra le stazioni 1 e 2.

Si può pertanto concludere che il protocollo (in questo caso) è fair e che il throughput del sistema è pari a $16/22 \simeq 0.73$. \square

Esercizio 3.11. *Si consideri una rete FDDI con due stazioni attive: 1 e 2. La stazione 2 può solo inviare traffico asincrono, mentre la stazione 1 solo traffico sincrono. Nell'ipotesi che entrambe le stazioni siano collegate alla fibra come nella figura ed operino in condizioni di saturazione e assumendo che il TTRT sia pari a 10 ms ed il Ring Latency sia pari a 2 ms, sono richiesti:*

- la tabella relativa alle due stazioni dell'andamento delle temporizzazioni e della quantità di traffico trasmesso;
- la capacità del protocollo;



Si parta da uno stato iniziale in cui le due stazioni osservano il token e sono scariche. Si supponga che durante la prima rotazione del token le due stazioni vengano saturate e in tale condizione rimangano permanentemente.

Soluzione. Secondo il protocollo MAC dell'FFDI la quantità di traffico sincrono S che ciascuna delle due stazioni può trasmettere è pari a:

$$S = \frac{\text{TTRT} - \text{Ring Latency}}{2} = \frac{8}{2} = 4\text{ms}$$

La tabella sottostante riporta l'evoluzione temporale del protocollo.

Stazione	Istante Ricezione token	TRT	TTRT-TRT	Trasm. Traffico Sincrono	Trasm. Traffico Asincrono	Istante Rilascio token
1	0	-	-	-	0	0
2	0	-	-	-	0	0
1	2	2	8	4	-	6
2	6	6	4	-	4	10
1	12	10	0	4	-	16
2	16	10	0	-	0	16
1	18	6	4	4	-	22
2	22	6	4	-	4	26

Come si può notare dalla tabella il sistema si comporta in maniera ciclica con periodo pari a 16 ms. In questi 16 ms vi sono stati 8 ms di traffico sincrono e 4 ms di traffico asincrono, pertanto il coefficiente di utilizzazione del protocollo è pari a $(8 + 4)/16 = 0.75$. \square

Esercizio 3.12 (A.A. 1997/98).

Una rete FDDI è utilizzata per collegare 4 stazioni. Il traffico sincrono (normalizzato) di ciascuna stazione è:

$$\alpha_1 = 4, \alpha_2 = 6, \alpha_3 = 4, \alpha_4 = 8$$

Il tempo di propagazione (normalizzato) sull'anello tra le varie coppie di stazioni è:

$$\tau_1 = 1, \tau_2 = 2, \tau_3 = 2, \tau_4 = 3$$

Assumendo un TTRT di 34, illustrare mediante la tabella temporale di accesso (TRT - Token Rotation Time) il funzionamento del protocollo per i primi tre giri completi del token.

Soluzione.

Supponendo che il token venga generato dalla stazione 1 al tempo 0, è possibile calcolare l'evoluzione del protocollo ottenendo i risultati in tabella, infatti durante il primo giro del token nessuno trasmette perché tale giro serve solo per completare l'inizializzazione. Nei giri successivi le stazioni trasmettono il traffico sincrono ed eventualmente il traffico asincrono. Si noti che, anche se non specificato nel testo dell'esercizio, si assume che il traffico asincrono sia sempre presente.

Stazione	Istante Ricezione token	TRT	TTRT-TRT	Trasm. Traffico Sincrono	Trasm. Traffico Asincrono	Istante Rilascio token
1	0	-	-	0	0	0
2	1	-	-	0	0	1
3	3	-	-	0	0	3
4	5	-	-	0	0	5
1	8	8	26	4	22	34
2	35	34	0	6	0	41
3	43	40	-6	4	0	47
4	49	44	-10	8	0	57
1	60	52	-18	4	0	64
2	65	30	4	6	0	71
3	73	30	4	4	0	77
4	79	30	4	8	0	87
1	90	30	4	4	0	94
2	95	30	4	6	0	101
3	103	30	4	4	0	107
4	109	30	4	8	0	117

□

Esercizio 3.13 (A.A. 1998/99). *Quattro nodi sono connessi con una rete FDDI. Supposto che ogni nodo abbia necessità di trasmettere traffico sincrono (convenzionale) pari a 4 unità, che il tempo di propagazione fra ogni nodo sia 1 unità e che ciascuno dei quattro nodi abbia sempre necessità di trasmettere traffico asincrono, determinare:*

- a) *Il TTRT in maniera che sia garantita la trasmissione di traffico asincrono ad almeno una stazione per ciclo;*

- b) *Illustrare i primi tre cicli di funzionamento;*
 c) *Definire il fattore di utilizzazione.*

Dimostrazione. Per poter trasmettere oltre al traffico sincrono anche del traffico asincrono è necessario che il TTRT sia maggiore di almeno una unità rispetto al tempo totale necessario per trasmettere il token da un stazione all'altra più il tempo necessario alla trasmissione del traffico sincrono più il valore massimo fra i valori di traffico asincrono delle stazioni aumentato di uno. Pertanto si sceglie:

$$TTRT = 4 \cdot 4 + 4 \cdot 1 + 4 + 1 = 25$$

In questo caso i primi tre cicli di funzionamento della rete sono illustrati in tabella.

Stazione	Istante Ricezione token	TRT	TTRT-TRT	Trasm. Traffico Sincrono	Trasm. Traffico Asincrono	Istante Rilascio token
1	0	-	-	0	0	0
2	1	-	-	0	0	1
3	2	-	-	0	0	2
4	3	-	-	0	0	3
1	4	4	21	4	17	25
2	26	25	0	4	0	30
3	31	29	-4	4	0	35
4	36	33	-8	4	0	40
1	41	37	-12	4	0	45
2	46	20	5	4	1	51
3	52	21	4	4	0	56
4	57	21	4	4	0	61
1	62	21	4	4	0	66
2	67	21	4	4	0	71
3	72	20	5	4	1	77
4	78	21	4	4	0	82

Il fattore di utilizzazione per la rete data è pertanto:

$$U = \frac{TTRT - D}{TTRT} = \frac{25 - 4}{25} = 0.84$$

□

Esercizio 3.14 (A.A. 1999/00). Per una rete FDDI preposta al collegamento di 6 stazioni con traffico sincrono nominale uguale pari a 6 unità convenzionali e tempo di passaggio del token fra stazioni adiacenti (uguale per tutte le stazioni) di 0.3 unità convenzionali, determinare:

- Il valore del parametro TTRT in maniera che sia sempre garantita (per ogni ciclo) la trasmissione di traffico asincrono pari a 2 unità convenzionali;
- Valutare per la scelta fatta il fattore di utilizzazione;
- Illustrare in tabella i primi tre cicli di funzionamento della rete.

Dimostrazione. Affinché sia garantita la trasmissione di almeno due unità di traffico asincrono si deve avere che:

$$TTRT = 6 \cdot 6 + 6 \cdot 0.3 + 6 + 2 = 45.8$$

Il fattore di utilizzazione della rete FDDI risulta pertanto essere:

$$U = \frac{TTRT - D}{TTRT} = \frac{45.8 - 1.8}{45.8} = 0.96$$

□

Esercizio 3.15 (A.A. 2000/01). Per una rete FDDI preposta al collegamento di 4 stazioni con traffico sincrono nominale uguale pari a 3 unità convenzionali e tempo di passaggio fra stazioni adiacenti (uguale per tutte le stazioni) di 0.8 unità convenzionali, determinare:

- Il valore del parametro TTRT in maniera che il fattore di utilizzazione non risulti inferiore al 90%;
- Illustrare in tabella i primi tre cicli di funzionamento della rete.

Soluzione. Si vuole

$$0.9 = \frac{TTRT - 4 \cdot 0.8}{TTRT}$$

Pertanto TTRT=32.

□

Esercizio 3.16 (A.A. 2001/02). Un rete FDDI collega 4 stazioni (A, B, C, D) con traffico sincrono nominale pari a 10 unità convenzionali. Il tempo di passaggio del token fra stazioni adiacenti è così definito:

$$w_{ab} = w_{cd} = 2; \quad w_{bc} = w_{da} = 3$$

Tutte le stazioni hanno sempre traffico asincrono da trasmettere.

- Fissato il TTRT a 62 determinare la tabella relativa ai primi tre cicli di funzionamento del protocollo per la condizione di carico prima specificata e per il caso in cui la stazione C non abbia più il traffico sincrono da trasmettere (non è richiesto in questo caso di ridefinire il TTRT).

Esercizio 3.17 (A.A. 2002/03 - Nuovo Ordinamento).

Sia data una rete FDDI con 4 stazioni attive. Il traffico sincrono in unità che ognuna di esse deve trasmettere è rispettivamente pari a:

$$S_1 = S_4 = 4 \quad S_2 = S_3 = 2$$

Le stazioni hanno sempre traffico asincrono da trasmettere. Il ritardo di trasmissione fra stazioni adiacenti è pari a 0,8 unità. Si calcoli il TTRT per avere un fattore di utilizzazione pari all'80% e si illustri il funzionamento della rete nei primi tre cicli di funzionamento dopo il primo ciclo di inizializzazione.

Esercizio 3.18 (A.A. 2002/03 - Previgente Ordinamento).

Una rete FDDI è impiegata per collegare tre terminali. Solo uno di essi (Term. 1) ha sempre traffico asincrono da trasmettere mentre gli altri non ne hanno mai. Il carico in termini di traffico sincrono è in unità convenzionali:

$$\text{Term. 1} = \text{Term. 3} = 4$$

mentre i ritardi di propagazione sono:

$$D_{1,2} = D_{2,3} = D_{3,1} = 1.$$

Determinare il traffico sincrono possibile per il Term. 2 supponendo che il valore minimo di TTRT sia 14, Per i valori precedenti relativi ai parametri di sistema si illustrino nel dettaglio i primi due cicli completi seguenti al ciclo d'inizializzazione.

Esercizio 3.19 (A.A. 2003/04 - Previgente Ordinamento).

Una rete FDDI è impiegata per collegare quattro terminali. Il carico in termini di traffico sincrono in unità convenzionali è:

$$\text{Term. 1} = 4; \text{Term. 2} = 8; \text{Term. 3} = 6; \text{Term. 4} = 1$$

mentre i ritardi di propagazione tra i nodi sono tutti uguali fra loro e pari a 1.

Nessuno dei terminali ha traffico asincrono da trasmettere. Una volta a regime (si assuma un congruo numero di giri del Token) i terminali 1 e 3 subiscono un aumento del carico sincrono pari al 300% per il Term. 1 e 200% per il Term. 3.

Determinare dopo quanti "giri" si rende necessaria una nuova fase di negoziazione e quale terminale, accorgendosi per primo di questo, la richiede.

Esercizio 3.20 (A.A. 2004/05).

Una rete FDDI serve per collegare 5 terminali. Il ritardo di propagazione in unità convenzionali è:

$$D_1 = 1; D_2 = 1; D_3 = 3; D_4 = 2; D_5 = 3;$$

Ipotizzando di volere un fattore di utilizzazione della rete pari ad almeno il 90% e che i primi tre terminali hanno un carico in termini di traffico sincrono uguale, mentre i terminali 4 e 5 lo hanno doppio (es: $S_1=1; S_2=1; S_3=1; S_4=2; S_5=2$), si calcoli il traffico sincrono che essi possono trasmettere in termini di unità convenzionali e si illustri il comportamento della rete durante i primi due giri del Token dopo il giro di inizializzazione, ipotizzando che nessuna stazione abbia traffico asincrono da trasmettere. Si calcoli infine la porzione di banda utilizzata da ogni terminale.

3.3 Switched Multimegabit Data Service (SMDS)

Esercizio 3.21 (A.A. 1999/00). Valutare il tempo necessario a completare la trasmissione di un file di 3 Mbyte in una rete SMDS supponendo la massima velocità di trasmissione uguale a 45 Mbyte/s e una velocità media di accesso (nodo) uguale a 1 byte/ μ s. (Il nodo è inattivo al momento di arrivo della richiesta da 2.5 ms)

Soluzione. Se il nodo è inattivo da 2.5ms, significa che questo, al momento dell'arrivo della richiesta, ha accumulato crediti per 2500 byte. Non posso cioè inviare il file di 3Mbyte. Perché lo possa inviare devo aspettare di accumulare crediti per altri $3000000-2500=2997500$ byte. Questo avverrà dopo 2.9975s. A questo tempo si deve aggiungere il tempo impiegato per iniziare effettivamente il file che corrisponde a $3(\text{MB})/45(\text{MB/s})=66.7\text{ms}$.

□