

1. Reti Locali standard IEEE

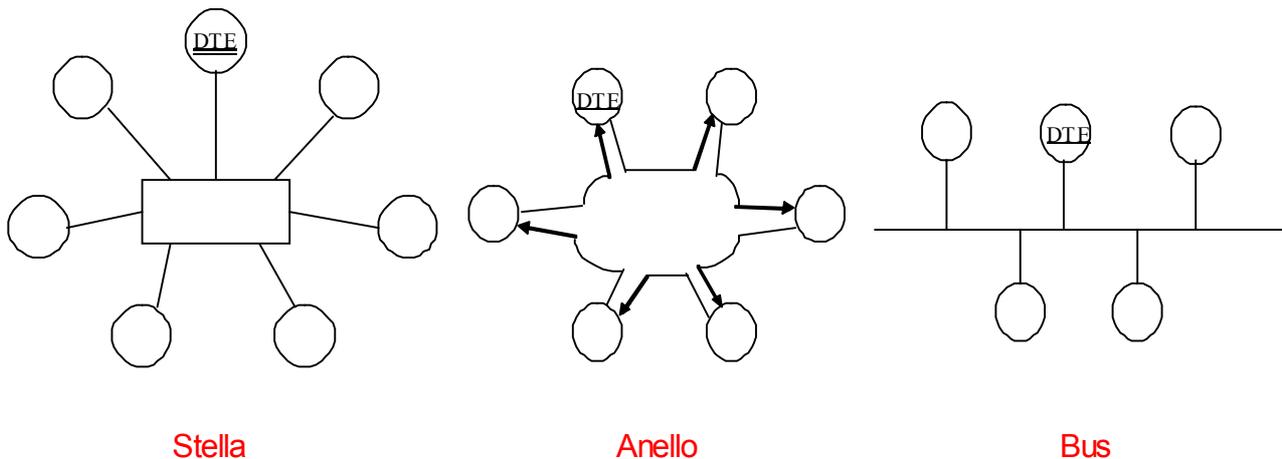
1.1 Introduzione

Le reti locali per trasmissione dati, LAN, (*Local Area Networks*) sono utilizzate per interconnettere sistemi di elaborazione dati e terminali fisicamente distribuiti in un singolo edificio o in un gruppo di edifici adiacenti. Ad esempio una LAN può interconnettere stazioni di lavoro intelligenti distribuite negli uffici di uno stesso edificio o diversi dispositivi di elaborazione distribuiti in un complesso ospedaliero o in una fabbrica. Essendo in entrambi gli esempi visti tutti sistemi di proprietà di una singola organizzazione, le reti locali vengono normalmente installate e gestite da privati, e vengono anche definite *reti private per trasmissione dati*.

In genere le velocità trasmissive sono molto più elevate nelle LAN rispetto alle reti pubbliche, sostanzialmente, per la minore distanza che separa i vari dispositivi.

Topologia

La topologia adottata nella maggior parte delle reti geografiche è a maglia, mentre nelle LAN, grazie alle minori distanze che fisicamente separano i DTE (*Data Terminal Equipment*), possiamo trovare delle topologie meno complesse. Le tre più usate sono la Stella (*Star*), il Bus e l'Anello (*Ring*), come mostrato in figura.



A queste topologie, è possibile aggiungere quelle ad albero di stelle, utilizzate in sistemi con Hub/Switch interconnessi. Nel caso di sistemi di elaborazione distribuiti in un'area locale le topologie di LAN più usate sono quella lineare (o Bus) e quella ad anello. Spesso le reti a bus possono estendersi fino ad essere costituite da un insieme di bus interconnessi, risultando la topologia come una specie di albero senza radice.

Nella topologia lineare il cavo di rete è portato fino al DTE da connettere, e sul cavo stesso viene realizzata una connessione fisica, detta tappo (*tap*). Una opportuna circuiteria di controllo, che implementa algoritmi studiati allo scopo, viene utilizzata per condividere l'uso della larghezza di banda disponibile tra i vari DTE connessi alla rete.

Nella topologia ad anello, il cavo di rete collega ogni DTE al successivo fino a formare un anello. A differenza della rete lineare esistono dei collegamenti punto a punto tra i vari

DTE adiacenti. Opportuni algoritmi di accesso alla rete fanno sì che l'uso dell'anello sia condiviso da tutti gli utenti. Le velocità trasmissive usate nelle reti con topologia lineare ed ad anello (tipicamente da 1 a 100 Mbps) le rendono adatte ad interconnettere sistemi di elaborazione distribuiti in un'area locale.

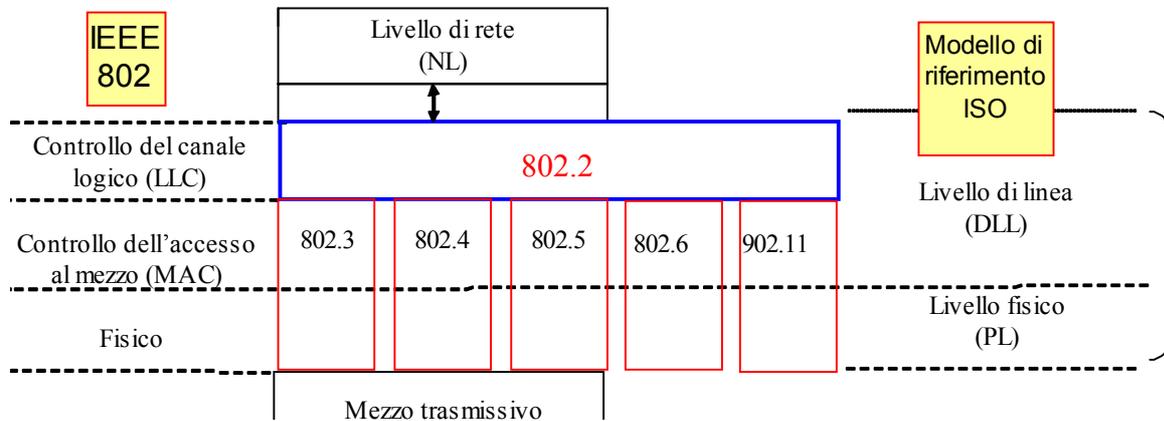
I mezzi trasmissivi

I principali mezzi trasmissivi usati nelle LAN sono il doppino schermato, il cavo coassiale e la fibra ottica. I primi due sistemi presentano il vantaggio della semplicità della connessione fisica, mentre la fibra ottica dal canto suo permette di avere elevati livelli di immunità da interferenze elettromagnetiche e velocità trasmissive molto elevate. È adatta per realizzare collegamenti punto-punto, come quelli nelle reti ad anello o in sistemi a doppio Bus.

Oggi stanno diventando particolarmente importanti i sistemi wireless che utilizzano un'onda radio come portante per la trasmissione dati. Le topologie sono tipicamente a stella, organizzate come strutture cellulari.

1.2 Protocollo di controllo del canale logico (802.2)

I protocolli delle reti locali sono stati normalizzati nei documenti della serie IEEE 802. Questa serie definisce una famiglia di protocolli, ciascuno dei quali è riferito ad un particolare tipo di metodo di accesso al mezzo trasmissivo. L'architettura degli standard IEEE e le loro relazioni con il modello di riferimento ISO sono riportati in figura:



I principali standard del sottolivello MAC (*Medium Access Control*) e le specifiche relative ai mezzi fisici sono definiti nei seguenti documenti:

IEEE 802.3 CSMA/CD

IEEE 802.4 Token Bus

IEEE 802.5 Token Ring

IEEE 802.6 DQDB

IEEE 802.11 Wireless LAN

Sebbene i livelli fisici di questi standard differiscano nel modo operativo interno, offrono lo stesso insieme standard di servizi al sottolivello LLC (*Logical Link Control*) che può essere quindi usato indifferentemente con tutti i sottostanti livelli MAC normalizzati. Normalmente i livelli fisico e MAC sono realizzati in *firmware* mediante circuiti integrati speciali.

Illustreremo quindi solo l'interfaccia tra i sottolivelli LLC e MAC.

Si noti che, in una rete locale, i protocolli dei sottolivelli LLC e MAC sono protocolli end-to-end poiché non esistono in rete nodi di commutazione intermedi simili, per esempio, ai nodi di una rete pubblica a commutazione di pacchetto.

1.2.1 Il sottolivello LLC

Mentre il MAC si occupa della gestione dell'accesso al mezzo fisico (funzione fisica del DLL), l'LLC svolge le seguenti funzioni logiche del DLL:

- Gestione degli indirizzi. Il DLL si occupa di formare i pacchetti di informazione (frame) e ad ogni singola informazione spedita sul mezzo fisico viene unito l'indirizzo di destinazione (stazione a cui mandare l'informazione) e l'indirizzo sorgente (stazione che invia l'informazione).
- Gestione degli errori. Quando il messaggio trasmesso viene perso la stazione di destinazione segnala la mancata ricezione della frame alla stazione sorgente (meccanismo di recupero dell'errore). Se la trasmissione avviene in modo corretto la

stazione di destinazione avverte quella sorgente del buon esito della trasmissione con un messaggio di conferma (ack). Nel caso in cui il destinatario riceva un messaggio errato o corrotto da errori questi richiederà la ritrasmissione dello stesso messaggio alla stazione sorgente.

- Ordinamento. Quando l'informazione da spedire é molto lunga in termini di bit questa viene suddivisa in pacchetti ordinati sequenzialmente tramite un indice che poi verrà controllato in ricezione per ricostruire la giusta sequenza.
- Controllo di flusso. Di solito l'informazione viene trasmessa spezzettata per evitare che un errore sporadico comprometta l'integrità di tutti i dati trasmessi. In tal modo si risparmia larghezza di banda in quanto in caso di errore bisogna ritrasmettere solo un pacchetto e non l'intero messaggio. Si utilizza a tal fine una finestra di trasmissione, contenente un certo numero fissato di pacchetti. Dopo aver trasmesso i messaggi contenuti in un'intera finestra di trasmissione, la stazione sorgente attende un messaggio di conferma per sapere se e quali pacchetti ritrasmettere nella successiva finestra di trasmissione, ovvero per sapere se é necessario ritrasmettere alcuni pacchetti poiché non correttamente ricevuti o se può trasmettere nuovi pacchetti.

In generale le primitive usate negli standard IEEE sono simili a quelle degli standard ISO ad eccezione delle primitive di risposta che negli standard IEEE non sono usate. Ciò significa che mentre ad un servizio ISO è associata una specifica primitiva generata per la conferma, nei servizi IEEE essa è generata direttamente dall'entità di protocollo di livello inferiore locale o remota e non a seguito della ricezione di una primitiva di risposta all'interfaccia utente remota. I due casi descritti sono presentati in figura:

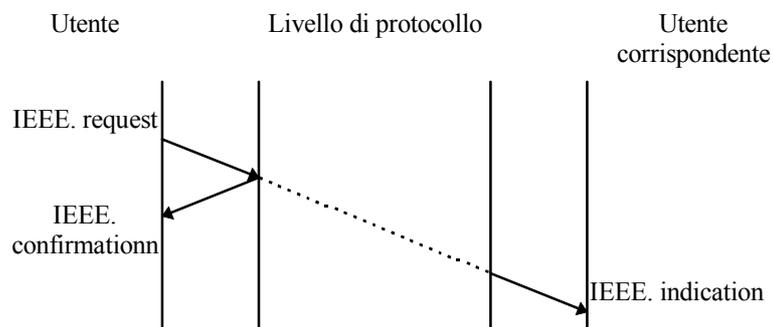


Fig. A Primitive di servizio IEEE con conferma locale

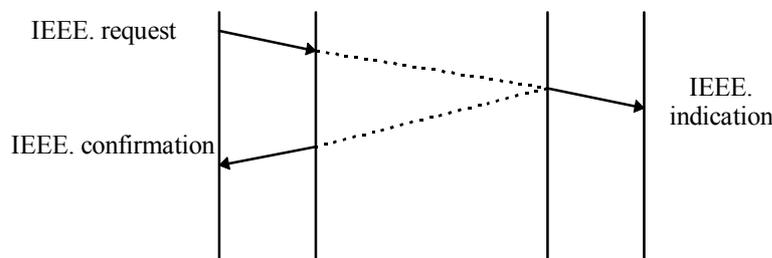


Fig. B Primitive di servizio IEEE con conferma remota

Nel caso della figura A la primitiva di conferma indica semplicemente all'utente se l'entità di protocollo locale ha avuto successo o meno all'invio della richiesta alla pari entità remota; ciò non implica comunque che tale richiesta sia stata ricevuta correttamente. Analogamente, nel caso di figura B, la primitiva di conferma indica che la pari entità

remota ha passato con successo la primitiva di indicazione all'utente corrispondente; non è stata quindi generata come risultato di una risposta da parte dell'utente corrispondente come avviene in questi casi negli standard ISO.

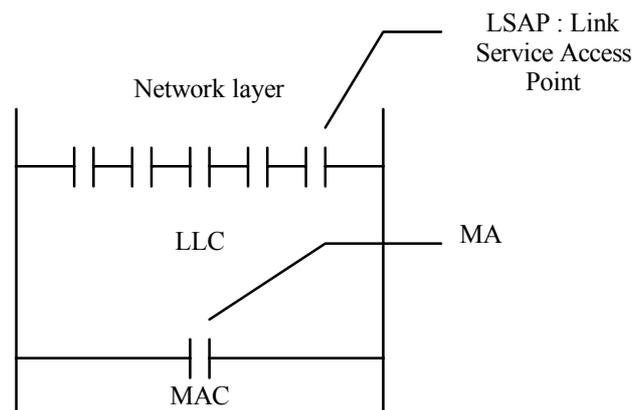
1.2.2 I servizi offerti dal sottolivello LLC

I due tipi di servizi utente offerti dal sottolivello LLC sono:

- un servizio senza connessione e non confermato (*unacknowledged connectionless service*)
- un insieme di servizi con connessione (*connection oriented services*)

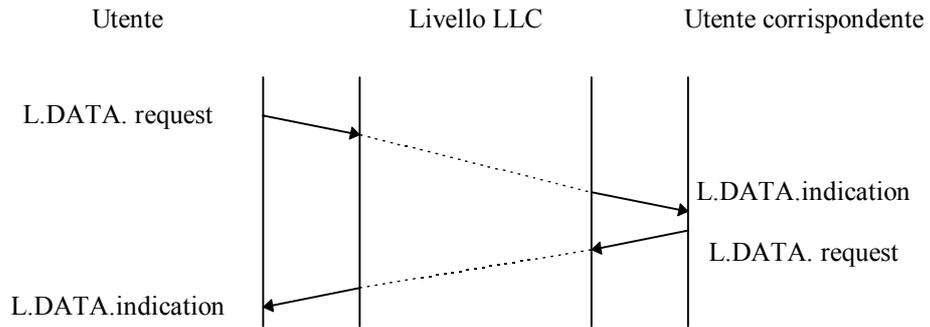
Il servizio senza connessione non confermato offre all'utente la possibilità di trasferire i dati con procedure di protocollo supplementari molto ridotte. Tipicamente questo servizio viene usato quando le funzioni di recupero degli errori e di controllo di sequenza sono realizzate dai livelli di protocollo più elevati e non c'è quindi la necessità di replicarli nel sottolivello LLC. Al contrario i servizi con connessione offrono all'utente la possibilità di stabilire una connessione logica a livello di linea prima di trasferire dati di utente e, ove necessario, di realizzare, in relazione allo scambio di dati in corso sulla connessione, funzioni di recupero degli errori e di controllo di sequenza e di flusso.

È possibile immaginare l'LLC come nel seguente schema:

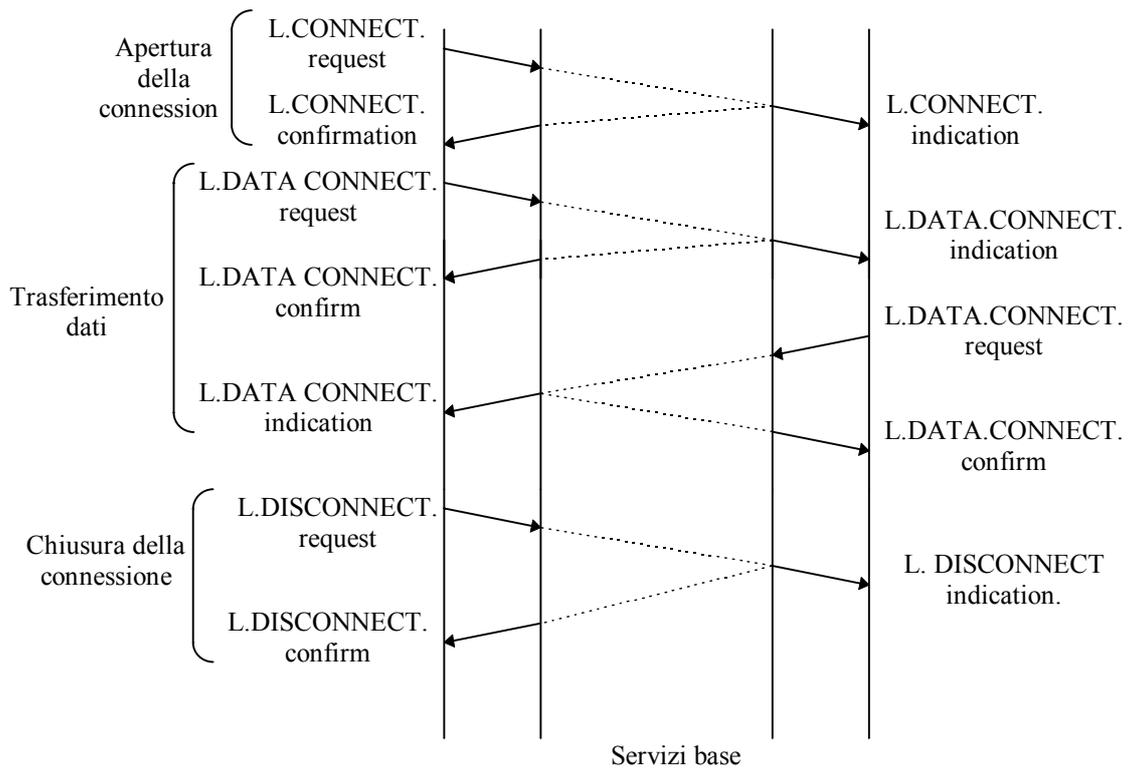


Le interfacce tra il network layer ed LLC si chiamano LSAP (**Link Service Access Point**). Questi punti di trasmissione permettono al network layer di comunicare con l'LLC. Ci sono parecchi LSAP perché in teoria è possibile che ad un nodo di comunicazione confluiscono diverse stazioni, infatti attraverso ogni singolo LSAP è possibile differenziare diversi computer. Invece l'interfaccia tra LLC e MAC è unica ed attraverso quest'unica porta confluiscono i messaggi dall'LLC verso il MAC; questa interfaccia si chiama MA (MAC Access).

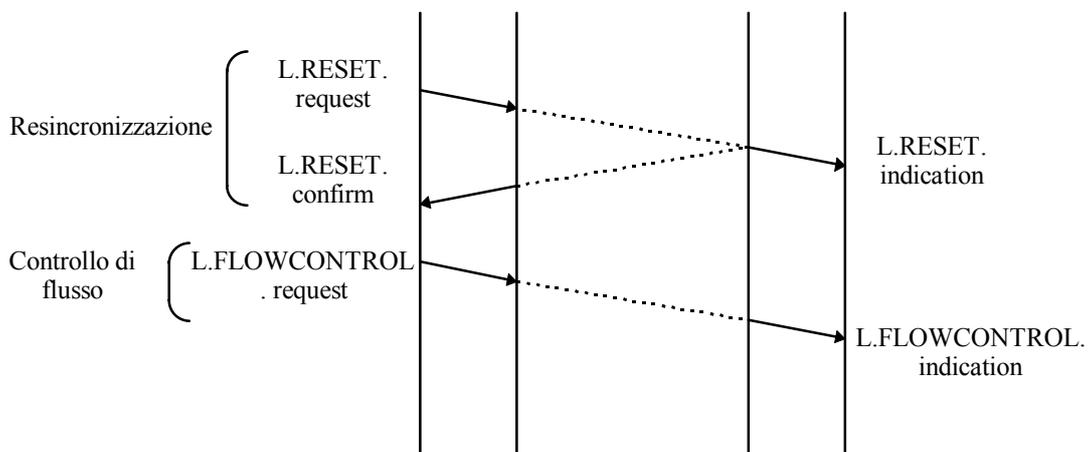
Le diverse primitive associate ai due tipi di servizio sono riportate nel diagramma temporale di sequenza mostrato in figura:



Primitive di servizio LLC senza connessione non confermata



Servizi base



Servizi opzionali

Primitive di servizio utente LLC con connessione

Ciascuna delle primitive che vi compaiono ha dei parametri associati, quali gli indirizzi sorgente (locale) e destinatario (remoto) e ove necessario altri. Gli indirizzi sorgente e destinatario sono presenti in tutte le primitive di servizio. Essi specificano gli indirizzi da usare in rete ed è da notare che l'indirizzo destinatario può essere eventualmente un indirizzo di gruppo. Di solito entrambi gli indirizzi sono la concatenazione degli indirizzi usati sul mezzo fisico e dell'identificatore locale del punto di accesso al servizio (LLC-SAP).

Nel servizio senza connessione, o di tipo I, alla ricezione di una primitiva di richiesta di trasferimento dati (L.DATA.request) l'entità di protocollo LLC fa il possibile per inviare i dati relativi usando il sottolivello MAC; non è comunque previsto nessun messaggio di conferma del successo o dell'insuccesso del trasferimento.

- L.DATA.request (local address, remote address, l_sdu, service class)
- L.DATA.indication (local address, remote address, l_sdu, service class)

Nel servizio con connessione, o di tipo II, invece, la ricezione corretta di ogni unità dati è confermata dall'entità di protocollo LLC remota, e tale conferma è passata all'utente dall'entità locale tramite una primitiva L.DATA.CONNECT.confirm.

Le primitive di servizio RESET e FLOW_CONTROL sono offerte all'utente (il livello di rete) per controllare il flusso delle unità dati su una connessione. Il servizio RESET ha come effetto l'eliminazione di tutte le unità dati non confermate. Viene quindi usato solo se l'entità di protocollo di livello di rete perde il controllo sulla sequenza dei dati scambiati.

- L.CONNECT.request (local address, remote address, service class)
- L.CONNECT.indication (local address, remote address, service class, status)
- L.CONNECT.confirm (local address, remote address, service class, status)
- L.DATA.CONNECT.request (local address, remote address, l_sdu)
- L.DATA.CONNECT.indication (local address, remote address, l_sdu)
- L.DATA.CONNECT.confirm (local address, remote address, status)
- L.DISCONNECT.request (local address, remote address)
- L.DISCONNECT.indication (local address, remote address, reason)
- L.DISCONNECT.confirm (local address, remote address, status)
- L.RESET.request (local address, remote address)
- L.RESET.indication (local address, remote address, reason)
- L.RESET.confirm (local address, remote address, status)
- L.CONNECTION.FLOW_CONTROL.request (local address, remote address, amount)
- L.CONNECTION.FLOW_CONTROL.indication (local address, remote address, amount)

Le due primitive di controllo di flusso hanno solo significato locale. La primitiva L.FLOW_CONTROL.request specifica la quantità di dati che l'utente può accettare dall'entità locale di protocollo LLC, mentre la primitiva L.FLOWCONTROL.indication specifica la quantità di dati che l'entità locale LLC può accettare dall'utente; entrambe fanno riferimento ad una particolare connessione. Se la quantità specificata è zero il flusso di dati viene sospeso; se la quantità specificata è infinita alla connessione non

viene applicata alcuna procedura di controllo di flusso. La quantità di dati consentita può essere modificata dinamicamente da richieste successive.

Il modo operativo del protocollo LLC

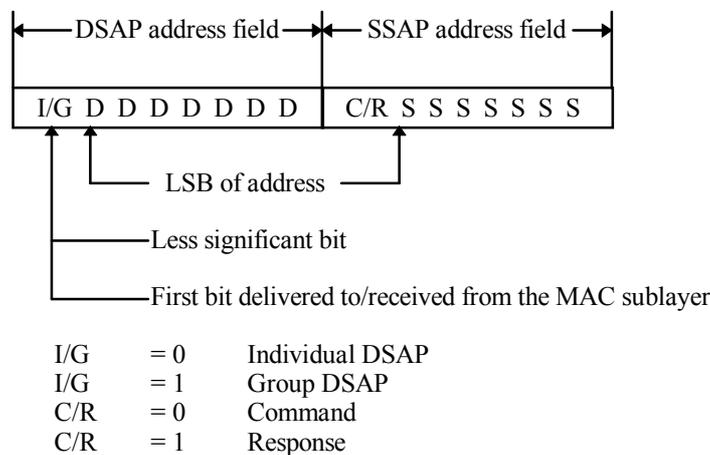
Il formato dei messaggi del protocollo LLC, detti LLC-PDU (Logical Link Control Protocol Data Unit) è mostrato in figura:



oltre al campo DATI, che contiene l'informazione che si vuole trasmettere, troviamo altri 3 campi:

- DSAP (*Destination Service Access Point*) che corrisponde all'indirizzo dell'LSAP di destinazione.
- SSAP (*Source Service Access Point*) che corrisponde all'indirizzo dell'LSAP sorgente.
- Controllo

Il campo di indirizzo è codificato con 8 bit, in particolare nel caso del DSAP il primo bit (meno significativo) può individuare indirizzi di gruppo in modo da poter spedire un messaggi ad un singolo utente oppure a più utenti contemporaneamente: trasmissione singola (uno ad uno) oppure trasmissione multipla (uno a molti) oppure trasmissione broadcast (uno a tutti). Invece nel caso dell'SSAP il primo bit specifica se quel messaggio è un comando o una risposta ad un comando.



Il campo di controllo può avere tre tipi di formato:

- I, *informativo*, ovvero messaggi che mandano informazioni.
- S, *supervisionato*, ovvero messaggi che servono per supervisionare il funzionamento complessivo della rete.
- U, *non numerato*, ovvero messaggi di supervisione ma non numerati.

Di questi tre formati solamente quello di tipo I contiene informazioni, mentre gli altri due formati, S ed U, non contengono il campo dati.

In questi campi sono presenti le sequenze N(R) ed N(S) lunghe entrambe 7 bit: N(R) compare nelle frame di tipo I ed S mentre N(S) compare solo nelle frame di tipo I. Il campo N(S) é l'ordine di sequenza delle frame. Se ad esempio si devono mandare 5 messaggi di numero da 0 a 4 N(S) é il numero che viene assegnato ad ogni singolo pacchetto in modo da gestire il loro ordinamento sia in trasmissione che in ricezione. Il campo N(R) serve invece per realizzare il meccanismo di ack, ovvero per fare in modo che la stazione ricevente comunichi la corretta ricezione delle frame a lei spedite.

	Bit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 - 16
I_PDU Trame informative		0	N(S)							P/F	N(R)
S_PDU Trame di supervisione		1	0	S	S	X	X	X	X	P/F	N(R)
U_PDU Trame non numerate		1	1	M	M	P/F	M	M	M		

- N(S) = Numeri di sequenza di invio (Bit 2 = bit di ordine più basso)
- N(R) = Numeri di sequenza di ricezione (Bit 10 = bit di ordine più basso)
- S = Bit di definizione delle funzioni di supervisione
- M = Bit di definizione delle funzioni di modifica
- X = Bit riservato messo a zero
- P/F = Bit Poll/Final

S	S	S_PDU
0	0	RR = Receive Ready
0	1	REJ = Reject
1	0	RNR = Receive Not Ready

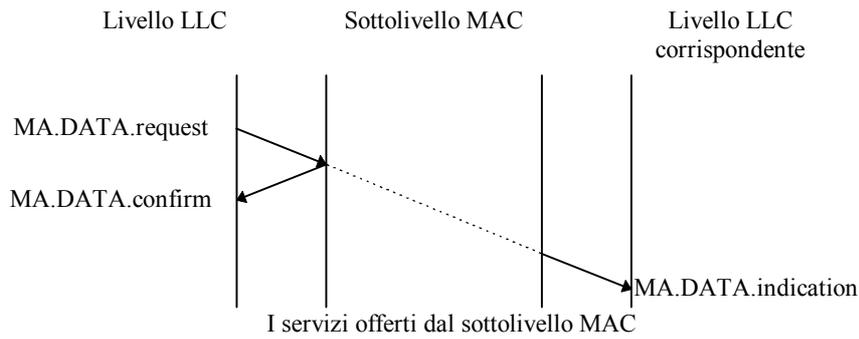
1.2.3 I servizi offerti dal sottolivello MAC

Lo stesso insieme standard di servizi utenti è offerto dal sottolivello MAC per il trasferimento dei messaggi LLC tra entità di protocollo corrispondenti, indipendentemente dal particolare modo operativo seguito dal MAC (CSMA/CD, Token Ring, Token Bus). Le primitive di servizio offerto all'utente sono:

- MA.DATA.request (destination address, m_SDU, requested_service_class)
- MA.DATA.indication (destination address, source address, m_SDU, reception status, requested_service_class)
- MA.DATA.confirmation (transmission status, provided_service_class)

In figura vediamo un diagramma temporale di sequenza che ne illustra l'uso.

Ciascuna primitiva di servizio ha dei parametri associati. La primitiva MA.DATA.request comprende: l'indirizzo di destinazione richiesto (che può essere individuale, di gruppo o



globale), un testo (contenente il messaggio LLC, cioè l'LLC-PDU) e la classe di servizio richiesta associata al messaggio in oggetto. Quest'ultimo parametro viene usato nelle reti Token Ring o Token Bus, per esempio quando si

usa un protocollo di accesso al mezzo trasmissivo che permette la definizione delle priorità.

La primitiva MA.DATA.confirmation comprende un parametro che indica il successo o il fallimento della trasmissione richiesta con la primitiva MA.DATA.request.

Come si può vedere dalla figura precedente tale primitiva di conferma non è generata come risultato di una risposta da parte dell'entità di protocollo LLC remota, ma è un'azione compiuta dell'entità di protocollo MAC locale; se il parametro indica successo, ciò significa semplicemente che l'entità di protocollo MAC è riuscita a trasmettere il testo affidatole in rete; se invece si è verificato un insuccesso, il parametro ne indica la ragione. Come esempio, in una rete con metodo di accesso CSMA/CD, un valore tipico del parametro in caso di insuccesso può essere "collisioni ripetute".

1.3. CSMA/CD (802.3)

Il metodo d'accesso CSMA/CD viene usato esclusivamente nelle reti a bus. Nelle reti che utilizzano questo tipo di topologia tutti i DTE sono collegati direttamente allo stesso cavo, che viene quindi usato per trasmettere dati tra una qualunque coppia di DTE. Si dice perciò che il cavo opera ad accesso multiplo (*Multiple Access Mode*). I dati da trasmettere vengono quindi impacchettati dal DTE in una trama che deve contenere quindi nell'intestazione l'indirizzo del destinatario, e quello del mittente. La trama viene quindi emessa sul cavo (*broadcast*). Tutti i DTE possono rilevare una qualsiasi trama trasmessa e, quando il destinatario rileva che la trama che sta ricevendo ha il suo indirizzo nell'intestazione, legge i dati e risponde secondo il protocollo di linea prestabilito al mittente (ad es. per confermare l'avvenuta ricezione).

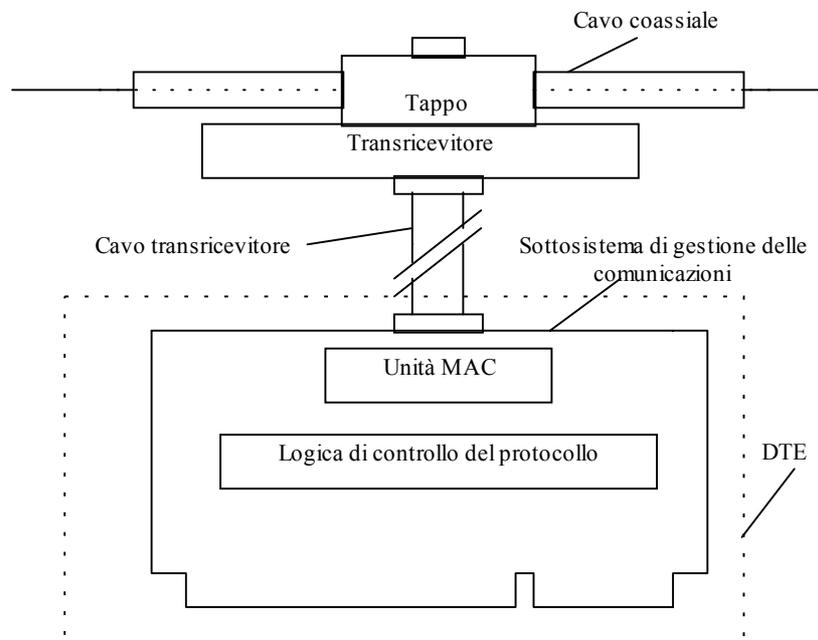
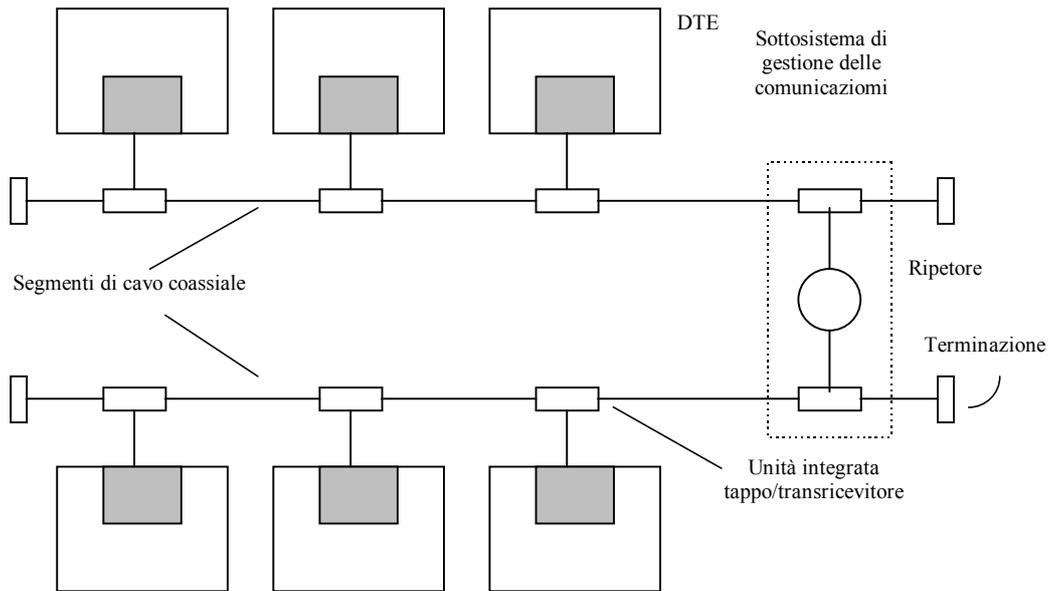
Potrebbe capitare che due DTE vadano contemporaneamente in trasmissione, causando una collisione che ha l'effetto di alterare i dati. Per ridurre la probabilità di una simile collisione prima di trasmettere una trama il DTE ascolta per vedere se qualcuno sta trasmettendo una trama e, se rileva appunto la presenza di una portante (*Carrier Sense*), rimanda la propria trasmissione. Ciò non garantisce che non ci siano collisioni, poiché può capitare che due DTE entrambi in ascolto, non rilevando altre trasmissioni in corso, inizino a trasmettere le loro trame contemporaneamente. Non potendo impedire ciò, quando un DTE trasmette il contenuto di una trama sul cavo, nel frattempo controlla il segnale presente sul bus e se differisce da quello trasmesso deduce che è avvenuta una collisione (*Collision Detect (CD)*).

Per far sì che anche gli altri DTE si rendano conto subito dell'avvenuta collisione la rafforza, trasmettendo per un breve periodo una sequenza casuale di bit nota come sequenza di collisione (*jam sequence*).

Prima di riprovare a trasmettere i due DTE attendono un breve intervallo di tempo casuale. Si può vedere quindi che il metodo di accesso nel caso di reti a bus CSMA/CD è di tipo probabilistico ed ha un comportamento che dipende dal carico globale sulla rete. Però poiché si inizia a trasmettere solamente quando il cavo è inattivo, la probabilità di avere delle collisioni è abbastanza ridotta.

1.3.1. Rete a bus con metodo CSMA/CD

L'esempio più noto di rete a bus gestita con metodo CSMA/CD è la rete *Ethernet*, che era in origine una rete in un cavo coassiale in banda base a 10Mbps. Una tipica rete a bus è mostrata in figura e fa riferimento al primo standard Ethernet sviluppato da IEEE con la sigla IEEE 802.3 Base 5. Le successive evoluzioni di Ethernet (fino a Gigabit Ethernet) sono descritte in un altro tutorial).



L'unità integrata Tappo e Transricevitore (*Tap and Transceiver*), nota anche come Unità di accesso al mezzo (*Medium Access Unit MAU*) comprende un Tappo che si connette fisicamente al cavo coassiale e che è strettamente accoppiato al Transricevitore. Quest'ultimo contiene la logica necessaria a:

- trasmettere e ricevere dati sul cavo.
- rilevare collisioni sul cavo;
- isolare elettricamente il cavo coassiale dall'elettronica di interfaccia;
- proteggere il cavo dai malfunzionamenti del transricevitore o del DTE.

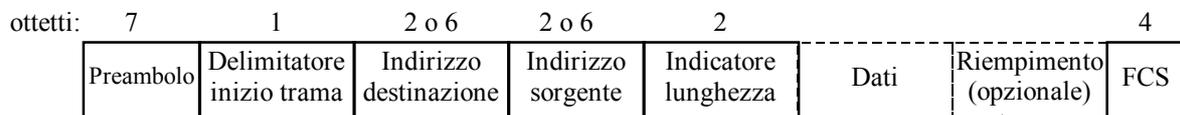
L'ultima di queste funzioni viene detta *Jabber Control* dato che senza la opportuna circuiteria di protezione, in caso di guasto, è possibile che un transricevitore (o un DTE) trasmetta continuamente dati casuali sul cavo e inibisca o corrompa di conseguenza tutte le altre trasmissioni. Il Jabber Control serve sostanzialmente ad isolare il dispositivo di

trasmissione dati dal cavo, nel caso che vengano violati i limiti prescritti: per esempio, tutte le trame trasmesse sul cavo hanno una lunghezza massima predefinita e se questa viene superata, il dispositivo di controllo impedisce ad altri dati in uscita di immettersi sul cavo.

Formato della trama

Ciascuna frame trasmessa sul cavo ha otto campi:

- 1) il preambolo
- 2) il delimitatore di inizio-trama
- 3) gli indirizzi di rete del sorgente
- 4) gli indirizzi di rete del destinatario
- 5) l'indicatore di lunghezza
- 6) il campo dati
- 7) un campo di riempimento opzionale
- 8) il campo della sequenza di controllo di trama (FCS)



Tutti questi campi hanno lunghezza prefissata tranne il campo dati e quello di riempimento che gli è associato. Il campo *preambolo* viene trasmesso all'inizio di ogni frame e la sua funzione è quella di permettere alla logica di ricezione in ciascuna unità MAC di ottenere in modo affidabile la sincronizzazione di bit prima che venga ricevuto il reale contenuto della trama. Il *Delimitatore di Inizio-Frame* segue immediatamente il preambolo e segnala al ricevitore l'inizio di una frame valida. Gli *Indirizzi di rete del Sorgente e del Destinatario* specificano, rispettivamente, l'identità del DTE di origine della frame e del destinatario richiesto. L'*Indicatore di lunghezza* indica il numero di ottetti che compongono il *campo Dati*. Il *campo di riempimento opzionale* aggiunge una sequenza di ottetti di riempimento nel caso in cui il valore indicato dal campo indicatore di lunghezza sia minore del numero minimo richiesto per una frame valida (Lunghezza minima della Frame). Il *campo della Sequenza di Controllo della Frame (FCS)* contiene una sequenza di controllo di ridondanza ciclica (CRC) usato per il rilevamento di errore.

Trasmissione della trama

Quando deve essere trasmessa una trama il suo contenuto viene anzitutto formattato dall'unità MAC come precedentemente descritto. Per evitare contesa con altre trasmissioni in corso la sezione di controllo dell'accesso al mezzo dell'unità MAC controlla il segnale di presenza di portante e, se necessario, subordina la propria attività alla trasmissione della trama in transito sul cavo. Dopo un breve intervallo di tempo aggiuntivo, noto come Intervallo inter trama (*Inter-Frame Gap*), che permette alla trama in transito di essere ricevuta ed elaborata dal DTE ricevente, inizia la trasmissione della propria trama. Il flusso di bit, codificato secondo la codifica Manchester, è dapprima inviato all'unità di Transricezione attraverso il cavo di interconnessione e poi convertito nel formato adatto alla trasmissione in cavo.

Quando il flusso di bit viene trasmesso sul cavo, la logica del transricevitore è all'ascolto del segnale presente nel cavo per rilevare eventuali collisioni. Se si rileva una collisione la logica del trasmettitore attiva immediatamente il segnale di Rilevamento di Collisione.

Questo segnale è a propria volta rilevato dall'unità MAC che rafforza la collisione con la **sequenza di jam** per fare in modo che la collisione sia rilevata da tutti i DTE coinvolti.

In caso di collisione, la ritrasmissione di una frame viene provata per un numero massimo prefissato di tentativi, noto come Limite di Prova (**Attempt Limit**), superato il quale il controllore rinuncia e riferisce il fallimento al computer. Le azioni di recupero sono lasciate agli strati superiori.

Poiché eventi di collisione ripetuti indicano che la rete è molto trafficata, l'unità MAC tenterà di abbassare il carico della rete aumentando progressivamente l'intervallo di tempo che separa i tentativi di ritrasmissione. La scansione dei tentativi di ritrasmissione è controllata da un processo detto **truncated binary exponential backoff**, che opera così: quando è stata completata la trasmissione della sequenza di collisione e non è stato ancora raggiunto il Limite di Prova l'unità MAC rinvia il tentativo di ritrasmissione della frame corrotta di un numero intero, scelto in modo casuale, di intervalli di tempo, detti *slot time*. Un DTE, infatti, rileva la collisione durante la fase iniziale della trasmissione della frame, detta **finestra di collisione (collision window)**, che ha una durata pari al doppio dell'intervallo di tempo impiegato dal primo bit del preambolo ad arrivare agli estremi più lontani della rete. L'intervallo "slot time" è quindi l'intervallo di tempo più elevato che il DTE deve attendere prima di rilevare in modo certo la collisione ed è definito come:

$$\text{"Slot Time"} = 2 \times (\text{Ritardo di propagazione}) + \text{Margine di sicurezza}$$

dove il Ritardo di propagazione (*Transmission Path Delay*) è calcolato come il ritardo di propagazione più elevato che si possa verificare in rete tra trasmettitore e ricevitore. Lo Slot Time vale quindi il doppio di questo ritardo, per consentire al segnale corrotto di ritornare al DTE trasmittente più un margine di sicurezza. Il numero R di Slot Time di cui è rinviato l'*N*-esimo tentativo di ritrasmissione è quindi scelto in modo casuale, con distribuzione uniforme, nei limiti $0 \leq R \leq 2^K$, dove $K = \text{Min}(N, \text{Backoff Limit})$.

Ricezione della trama

In ogni DTE attivo collegato al cavo, la logica di ricezione dell'unità MAC, quando rileva la presenza di un segnale in ingresso proveniente dal Tranricevitore, attiva il segnale di presenza di portante per impedire al DTE di effettuare nuove trasmissioni. Il Preambolo in arrivo viene quindi usato per ottenere il sincronismo di bit e, una volta che questo sia stato raggiunto, il flusso di dati codificati con tecnica Manchester viene riportato alla usuale forma binaria e quindi elaborato.

Anzitutto i bit restanti del Preambolo vengono scartati insieme al Delimitatore di inizio trama. Il campo Indirizzo del destinatario è quindi analizzato per vedere se la trama è diretta al DTE in questione. Se così è, il contenuto della trama, comprendente gli indirizzi del sorgente e del destinatario e il campo Dati, viene caricato in un buffer di trama, in attesa delle ulteriori elaborazioni. La sequenza FCS ricevuta viene quindi confrontata con quella calcolata dall'unità MAC in base al contenuto della trama, e, se sono uguali, il puntatore all'indirizzo del buffer contenente la trama ricevuta, viene passato ai livelli di protocollo più elevati per le elaborazioni successive, nella forma di parametro di una primitiva di servizio. Vengono poi compiuti altri controlli di correttezza sulla trama, come quelli tesi ad accertare che la trama contenga un numero intero di ottetti e che non sia né troppo lunga né troppo corta. Quindi, se in qualcuno di questi controlli si verificano errori, la trama viene scartata e se ne dà comunicazione al sottosistema di gestione della rete.

Inizialmente il flusso di bit trasmessi risultante da un evento di collisione viene ricevuto da tutti i DTE attivi come se si trattasse di una frame valida. Dopo che i DTE in contesa hanno rilevato la collisione e trasmesso la sequenza di collisione, essi cessano comunque di trasmettere. I frammenti delle frame ricevute in questo modo violano però il limite di *Minima Lunghezza della Frame* e vengono quindi scartati dai DTE riceventi. Inoltre, la definizione di una *Lunghezza Massima della Frame* implica che la dimensione dei buffer di trama usati in trasmissione e in ricezione possa essere nota a priori.

Si può concludere quindi che il metodo d'accesso per reti a bus CSMA/CD è di tipo probabilistico ed ha un comportamento dipendente dal carico globale sulla rete. Si deve notare, comunque, che essendo la velocità trasmissiva usata nel cavo molto elevata (fino a 10 Mbps), il carico di rete tende ad essere basso. Inoltre, poiché si inizia a trasmettere una frame solo se il cavo è inattivo, la probabilità che avvenga una collisione è in realtà abbastanza ridotta.

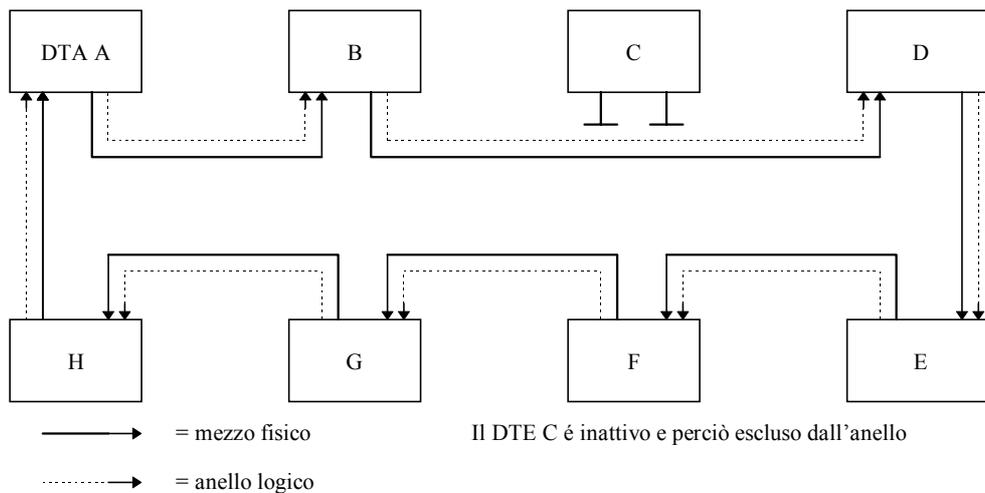
La rete CSMA/CD presenta quindi buone prestazioni in condizioni di basso carico. Però, non appena il carico aumenta, si ha un corrispondente aumento delle collisioni che danno origine ad un tempo di ritardo che può crescere in modo non prevedibile a priori.

1.4 Reti di tipo Control Token

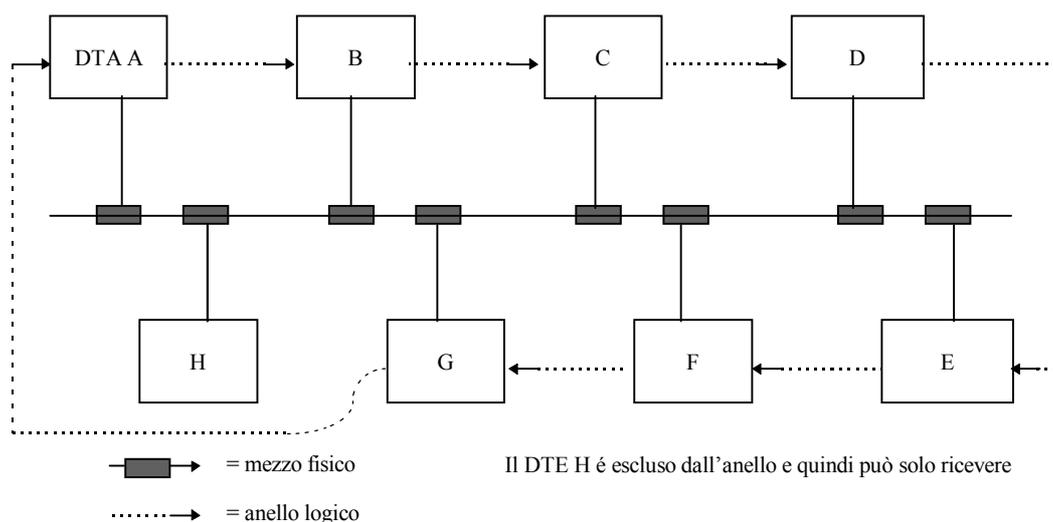
Un altro metodo di controllo dell'accesso ad un mezzo trasmissivo condiviso è quello fondato sul diritto di controllo (*Control Token*). Il diritto di controllo o testimone (*token*) viene trasferito da un DTE ad un altro secondo un insieme di regole prestabilite note a tutte i DTE connessi alla rete. Un DTE ha la possibilità di trasmettere una trama soltanto quando è in possesso del diritto e, fatto ciò, "passa il testimone" ad un altro DTE che può, a sua volta, accedere al mezzo trasmissivo. La sequenza delle operazioni è la seguente:

- 1) Si definisce un anello logico che collega tutti i DTE connessi al mezzo fisico nonché un singolo token;
- 2) il token viene passato da un DTE all'altro seguendo l'anello logico fino a quando non è ricevuto da un DTE che attende di poter trasmettere una o più frame;
- 3) il DTE in oggetto invia le frame in attesa di essere trasmesse sul mezzo fisico e quindi passa il token al DTE successivo nell'anello logico.

Bisogna inoltre prevedere delle opportune funzioni di controllo per l'inizializzazione dell'anello logico e per il recupero di errori dovuti alla perdita del token. Le funzioni di controllo sono normalmente replicate su tutti i DTE, ma solo uno ha la responsabilità del recupero degli errori e della reinizializzazione. La rete fisica non deve necessariamente avere una topologia ad anello; si può usare una disciplina di accesso basata sull'uso del token anche per reti a bus, per esempio. La definizione di un anello logico nei due tipi di rete è riportata in figura:



Metodo di controllo di accesso basato su token ring



Metodo di controllo di accesso basato su token bus

In un anello fisico la struttura dell'anello logico di passaggio del token è la stessa di quella fisica e la sequenza di ordinamento per il passaggio del token è analoga alla sequenza di ordinamento fisica dei DTE sul cavo. In una rete lineare, invece, l'ordinamento dell'anello logico non deve necessariamente seguire l'ordinamento fisico dei DTE sul cavo. Inoltre definendo un metodo di accesso basato su token in una rete a BUS, i DTE non devono necessariamente essere tutti connessi all'anello logico; per esempio il DTE H non ne fa parte dell'anello logico mostrato in figura. Questo significa che il DTE H può solo ricevere dato che non potrà mai essere in possesso del Token. Un'altra caratteristica del mezzo di accesso Token è che è possibile associare al Token diverse priorità, le trame a priorità più elevate potendo poi essere trasmesse per prime. Le stazioni collegate al bus possono essere classificate come:

- **Initiators**: le stazioni che partecipano alla gestione del ring logico.
- **Responders**: le stazioni che si limitano solo a rispondere (es. H).

Fisicamente il token bus è un cavo lineare o ad albero su cui sono collegate le stazioni; logicamente le stazioni sono organizzate in un anello in cui ciascuna conosce l'indirizzo del suo predecessore e del successore. Quando un anello logico viene inizializzato, le stazioni vengono inserite in esso nell'ordine degli indirizzi delle stazioni, dal più alto al più basso. Anche il passaggio di token avviene in questo ordine. Ogni volta che una stazione acquisisce il token può trasmettere frame per una certa quantità di tempo, dopodiché deve cederlo. Se una stazione non ha dati passa il token subito dopo averlo ricevuto.

Le caratteristiche del metodo di accesso al mezzo possono essere riassunte in:

- Efficienza in condizioni di traffico elevato; essendo il token un messaggio di lunghezza molto piccola richiede solo un piccolo spreco di larghezza di banda.
- Fairness: vengono offerte a tutte le stazioni un'eguale porzione di capacità del mezzo.
- Permette classi multiple di servizio, tramite l'uso della priorità.
- La trasmissione delle stazioni è coordinata per rendere minime le interferenze tra le stazioni.
- In assenza di disturbi è possibile calcolare deterministicamente il massimo ritardo di accesso per la classe di servizio a più alta priorità, per qualunque condizione di traffico. Ciò non vale per il traffico della classe a priorità più bassa poiché questo viene fortemente influenzato da quello ad alta priorità.

1.4.1 Suddivisione funzionale del MAC

Le funzioni del MAC si possono suddividere in quattro moduli: Transmit Machine, Receive Machine, ACM (Access Control Machine) ed IFM (Interface Machine).

La *Transmit machine*:

- calcola l'FCS della frame
- inserisce il preambolo, lo start delimiter e l'end delimiter
- serializza il messaggio
- notifica all'ACM la fine della trasmissione

La *Receive machine*:

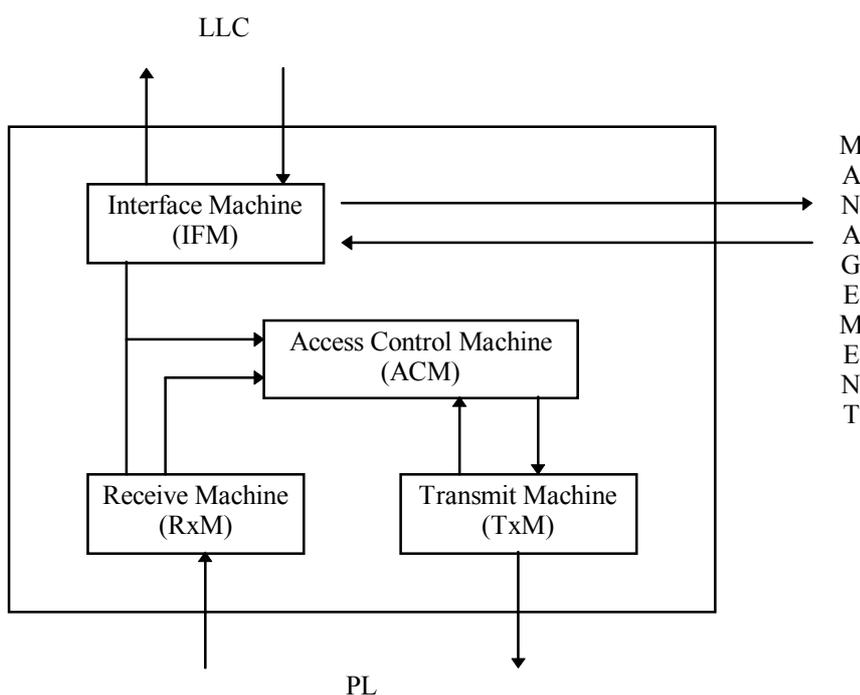
- calcola e controlla l'FCS
- elimina il preambolo, lo start delimiter e l'end delimiter
- deserializza il messaggio
- passa all'IFM le frame corrette

L' *Interface machine*:

- completa le frame con le informazioni necessarie (destination address, source address, etc)
- notifica all'ACM il tipo di messaggio da trasmettere (confirmation class)
- in ricezione passa l'indication all'LLC
- esegue il riconoscimento dell'indirizzo della frame

L'ACM é il modulo che implementa il protocollo di comunicazione quindi coopera con le altre ACM per controllare l'accesso al bus comune svolgendo le seguenti operazioni:

- Token Handling, ovvero: passaggio del token da una stazione alla successiva; riconoscimento del token alla ricezione; definizione delle priorità delle unità dati.
- Ring Maintenance, ovvero: inizializzazione; modifica, aggiunta e rimozione di stazioni.
- Fault detection & Recovery, ovvero: token multipli (nel caso in cui ci siano più token in circolazione); token perso; token-pass failure (errore nel passaggio del token); deaf-station (con ricevitore guasto); indirizzi di stazione duplicati.

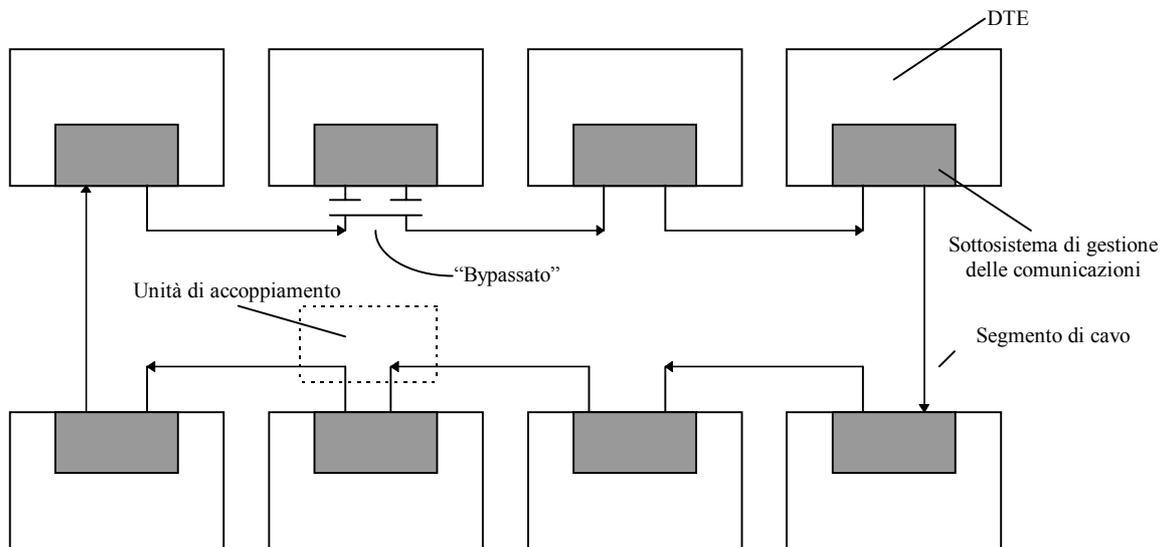


Affrontiamo nel seguito in dettaglio, l'organizzazione ed il funzionamento delle due reti ad anello standardizzate da IEEE.

M
A
G
N
E
T

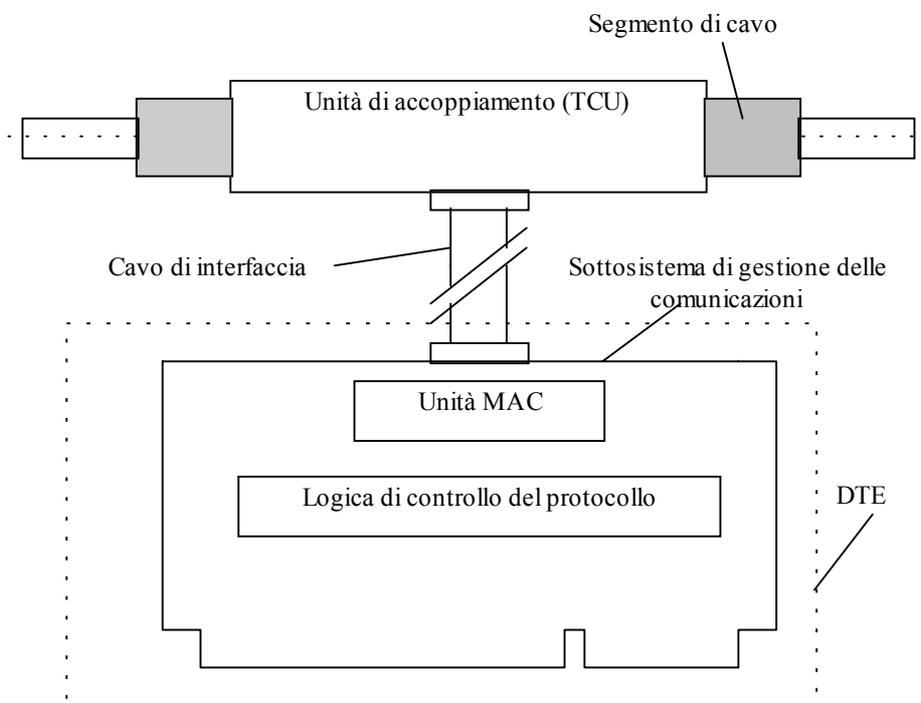
1.4.2 Rete ad anello con metodo di accesso token (token ring) IEEE 802.5

Una tipica rete ad anello con metodo di accesso Token è mostrata in figura



Componenti delle reti ad anello con metodo di accesso token; configurazione

Un diagramma schematico che mostra i vari componenti necessari per connettere il DTE al cavo è riportato in figura

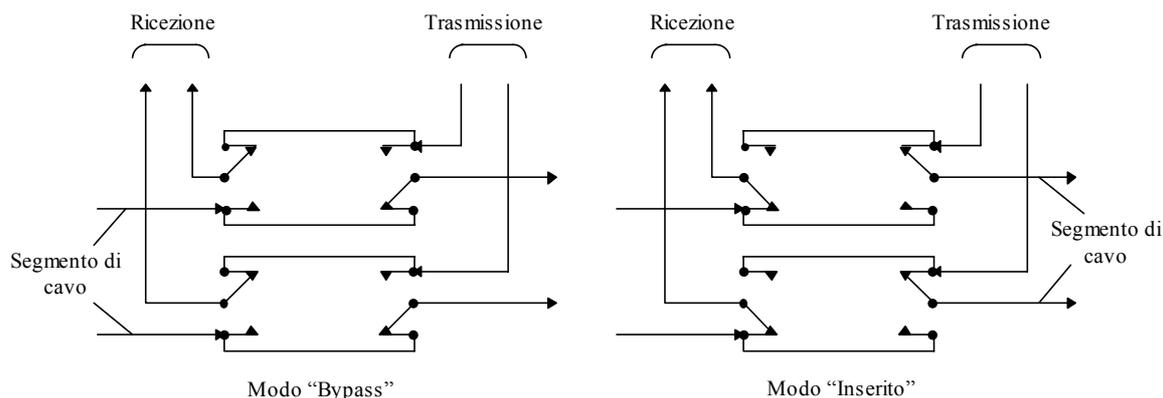


Componenti delle reti ad anello con metodo di accesso token; interfaccia DTE/rete

Il mezzo trasmissivo, è di solito una linea bifilare schermata, con velocità trasmissive 1, 4 o 16 Mbps.

Interfaccia di rete

L'unità di accoppiamento al cavo TCU (*Trunk Coupling Unit*) è l'interfaccia fisica al mezzo trasmissivo. Essa contiene un certo numero di commutatori (relay) e la logica per trasmettere e ricevere segnali dal cavo. I commutatori sono predisposti in modo tale che quando il TDE è inattivo, l'unità TCU è in stato di by-pass e garantisce la continuità del circuito fisico. L'inserzione del DTE nell'anello è controllata dall'unità MAC della piastra di controllo della comunicazione residente nel DTE. L'unità MAC comincia il processo di inserimento del DTE attivando la coppia di commutatori nel TCU e, come si può notare in figura, questo fa sì che tutti i segnali ricevuti siano instradati attraverso l'unità MAC.



La logica di trasmissione e ricezione di quest'ultima legge e ritrasmette semplicemente il segnale che ha ricevuto se il DTE in oggetto non è la sorgente della trama, oppure toglie il segnale ricevuto dall'anello se essa era stata originata dallo stesso DTE. L'uso di due coppie di commutatori collegati in questo modo fa sì che il MAC possa rilevare malfunzionamenti di circuito aperto e cortocircuito nei fili di ingresso e di uscita. Inoltre, nello stato di by-pass, l'unità MAC può svolgere funzioni di autotesting, dato che la coppia di fili di trasmissione è richiusa su quella di ricezione. Il DTE è collegato al TCU per mezzo di un cavo schermato contenente due coppie bifilari: una per la trasmissione ed una per la ricezione;

Ogni rete prevede la presenza di una stazione che operi come **"Controllore attivo"** con funzioni di **supervisore**.

L'unità MAC svolge le funzioni di composizione e decomposizione della trama, di generazione della sequenza FCS, di rilevamento degli errori e realizza l'algoritmo di controllo dell'accesso al mezzo. Inoltre, quando il DTE svolge il ruolo di controllore attivo dell'anello fornisce la temporizzazione dell'anello necessaria per la codifica e la decodifica dei dati; i bit in circolazione nell'anello sono codificati secondo la codifica Manchester dal controllore attivo dell'anello e tutti gli altri DTE sono agganciati in frequenza e fase a questo flusso per mezzo di un circuito PLL (*Phase Locking Loop*).

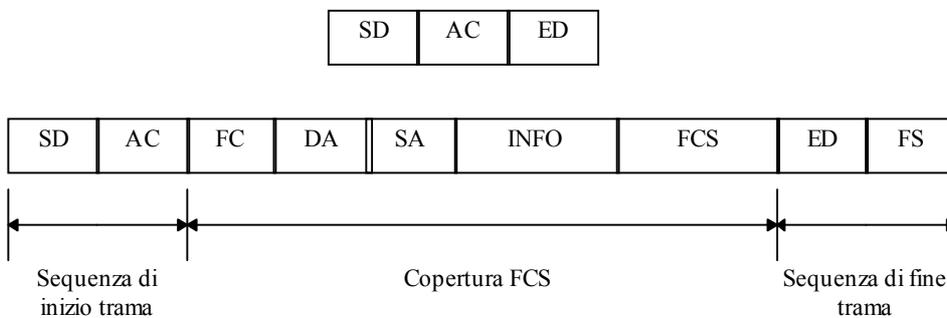
Inoltre, quando il DTE è il controllore attivo dell'anello, l'unità MAC controlla che l'anello abbia un tempo di latenza minimo (*minimum latency time*), sufficiente a contenere un token. Il tempo di latenza dell'anello comprende il ritardo di propagazione nel mezzo trasmissivo e la somma dei ritardi di propagazione provocati dall'unità MAC. Quindi, affinché il diritto a trasmettere (cioè il Token) circoli continuamente nell'anello, anche quando nessun DTE ne richiede l'uso, cioè tutti i DTE operano in modo ripetizione, l'anello

deve avere un tempo di latenza minimo pari almeno al numero di bit che definiscono il Token, in modo che il token stesso non sia corrotto.

La sequenza di token è costituita da **24 bit** e perciò quando un DTE è il controllore dell'anello la sua unità MAC fornisce un buffer di 24 bit che diventa in effetti parte dell'anello per assicurare un corretto funzionamento in tutte le condizioni. Sebbene la velocità trasmissiva dell'anello sia controllata da un singolo clock pilota residente nel controllore, l'uso di un circuito PLL in ciascuna unità MAC implica che la velocità di segnalazione varia in effetti poco tra le varie stazioni. Il caso peggiore di variazione si verifica quando è attivo il numero massimo possibile di DTE (250), il che (è stato calcolato) equivale ad una variazione di più o meno tre bit. A meno che il tempo di latenza dell'anello non rimanga costante, comunque, si corrompono alcuni bit nel caso che il tempo di latenza diminuisca, oppure sono aggiunti altri bit se il tempo di latenza aumenta. Al fine di mantenere costante il tempo di latenza dell'anello allora viene aggiunto un buffer elastico di sei bit al buffer fisso di 24 bit. Il buffer di 30 bit risultante è dapprima inizializzato a 27 bit, quindi se il segnale ricevuto dall'unità MAC pilota è più veloce dell'oscillatore locale del MAC, il buffer viene allargato di un bit. Altrimenti, se il segnale ricevuto è più lento, il buffer è ridotto di un bit. In questo modo l'anello comprende sempre un numero di bit sufficiente affinché il Token circoli continuamente nell'anello, anche se esso è inattivo.

Formati delle trame

Due formati base sono usati nelle reti ad anello con metodo di accesso token: uno per la trama di token e l'altro per le trame normali. Il token è il mezzo tramite il quale il diritto di controllo della trasmissione (contrariamente al normale processo di ripetizione) viene passato da un DTE ad un altro, mentre una trama normale viene usata da un DTE per inviare dati e informazioni di controllo dell'accesso in rete. Il formato dei due tipi di trama è



- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| J | K | 0 | J | K | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

 = Delimitatore di inizio (SD)
- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| J | K | 1 | J | K | 1 | 1 | E |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

 = Delimitatore di fine (ED)
- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | P | P | T | M | R | R | R |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

 = Controllo dell'accesso (AC)
- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| F | F | Z | Z | Z | Z | Z | Z |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

 = Controllo di trama (FC)
- | | | | | | | | |
|-----|------------------------|--|--|--|--|--|--|
| I/G | 15/47 bit di indirizzo | | | | | | |
|-----|------------------------|--|--|--|--|--|--|

 = Indirizzi sorgente e destinazione
- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | C | x | x | A | C | x | x |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

 = Stato della trama (FS)

riportato in figura insieme alla sequenza di bit usata in ciascuno dei campi che li compongono.

I campi detti Delimitatore di Inizio **SD (Start Delimiter)** e Delimitatore di Fine **ED (End Delimiter)** sono sequenze di bit speciali usate per garantire trasparenza dei dati. Essi sfruttano il metodo di codifica dei simboli usato sul cavo: tutti i bit di informazione trasmessi sul mezzo

Formati di trama token, trama normale e descrizione dei campi

sono codificati secondo lo schema Manchester ad eccezione di alcuni bit dei campi SD e ED. I simboli **J** e **K** si sottraggono alle normali regole di codifica e sono invece rappresentati da livelli costanti per l'intera durata del tempo di bit; il simbolo J è codificato con la stessa polarità del simbolo che lo precede, mentre il simbolo K è codificato con una polarità opposta a quella del simbolo che lo precede. In tal modo, il ricevitore può rilevare in modo affidabile l'inizio e la fine di una trama token o normale, indipendentemente dal suo contenuto o dalla sua lunghezza. Si noti che solo i primi sei simboli (JK1JK1) sono usati per indicare la fine valida di una trama mentre gli altri due bit, I ed E, hanno altre funzioni:

- 1) in una trama token, i bit **I** ed **E** hanno valore 0;
- 2) in una trama normale, il bit I viene usato per indicare che la trama in oggetto è la prima trama, o una trama intermedia, di una sequenza (I=1) oppure è l'ultima (o l'unica) trama di una sequenza (I=0);
- 3) il bit E viene usato per controllo di errore: è posto al valore 0 dal DTE sorgente ma, se un altro DTE rileva un errore quando riceve o ripete la trama (errore sull'FCS, per esempio) gli assegna valore 1 per segnalare al DTE sorgente che è stato rilevato un errore.

Il campo Controllo dell'Accesso AC (*Access Control*) comprende i Bit di Priorità, i Bit di Token, di Monitor e i Bit di Prenotazione. Come dice il nome, viene usato per controllare l'accesso all'anello. Quando sono parte di una trama di token, i Bit di Priorità (P) indicano la priorità del token; il Bit di Token (T) viene usato per distinguere una trama token da una trama ordinaria (il valore 0 indica il token e il valore 1 indica una trama ordinaria); il Bit di Monitor (M) viene usato dal monitor attivo per evitare che una trama circoli continuamente nell'anello, e i Bit di Prenotazione (R) consentono ad un DTE che abbia trame ad alta priorità, di richiedere che il token successivo sia emesso con il livello di priorità desiderato.

Il campo Controllo di Trama FC (*Frame Control*) definisce il tipo di trama in oggetto (informativa o di controllo dell'accesso) ed anche certe funzioni di controllo: se i Bit Tipo di Trama (F) indicano che si tratta di una trama MAC, tutti i DTE sull'anello analizzano ed eventualmente cambiano i valori dei Bit di Controllo (Z); se invece si tratta di una trama informativa, i Bit di Controllo vengono analizzati solo dai DTE identificati nel campo indirizzo di destinazione.

I campi Indirizzo di Destinazione DA (*Destination Address*) e Indirizzo Sorgente SA (*Source Address*) possono essere lunghi 16 o 48 bit ma per una singola LAN hanno una lunghezza unica per tutti i DTE, Il campo Indirizzo di Destinazione identifica il DTE (o i DTE) al quale è diretta la trama. Il primo bit del campo indica se si tratta di un Indirizzo Individuale (0) o di Gruppo (1); gli indirizzi individuali specificano un singolo DTE dell'anello mentre gli indirizzi di gruppo vengono usati per inviare una trama a diversi DTE, L'indirizzo Sorgente è sempre un indirizzo individuale e identifica il DTE che ha emesso la trama. Inoltre un Indirizzo Destinazione costruito di tutti 1 è noto come Indirizzo Circolare (*Broadcast Address*) e indica che la trama è indirizzata a tutti i DTE dell'anello.

Il campo Informazione INFO (*Information*) è usato per trasportare dati utente o informazioni di controllo nelle trame MAC. Sebbene non vi sia una lunghezza massima specificata a priori per tale campo, in realtà la sua ampiezza è limitata dall'intervallo di tempo massimo nel quale un DTE può trasmettere una trama quando è in possesso del token. Un valore tipico della lunghezza massima è di 132 ottetti.

Il campo Sequenza di Controllo di Trama FCS (*Frame Check Sequence*) è un CRC di 32 bit. Infine il campo Stato della Trama FS (*Frame Status*) è costituito di due sottocampi, i bit di riconoscimento dell'indirizzo (A) e i bit di trama copiata (C). Sia i bit A che i bit C sono messi a zero dal DTE sorgente. Se la trama è riconosciuta da uno o più DTE dell'anello, questo (o questi) attivano i bit A a 1; inoltre se tale DTE ricopia la trama, attiva i bit C a 1. In questo modo, il DTE sorgente può determinare se il DTE indirizzato non esiste o è inattivo, oppure è attivo ma non ha copiato la trama, oppure è attivo ed ha copiato la trama.

Trasmissione della trama

Alla ricezione di una richiesta di servizio di trasmissione dati, che ha come parametro la priorità di invio, i dati vengono composti dall'unità MAC nel formato descritto in precedenza. L'unità MAC attende allora di ricevere un token che abbia un livello di priorità minore o uguale a quello della trama assemblata. E' chiaro che in un sistema operante con diversi livelli di priorità deve essere definita una procedura che permette ai DTE di trasmettere le trame secondo l'ordine di priorità. Tale procedura opera nel modo seguente.

Dopo avere formattato la trama e prima di ricevere un token che abbia livello di priorità minore o uguale a quello della trama in attesa di essere trasmessa, l'unità MAC, ogni volta che ripete all'interfaccia di rete una trama o un token a priorità più elevata, legge il valore dei Bit di Prenotazione contenuti nel campo AC. Se tale valore è più elevato della priorità della trama in attesa di essere trasmessa, i Bit di Prenotazione vengono semplicemente ripetuti senza variazione alcuna. Se invece il valore dei Bit di Prenotazione è più basso, l'unità MAC sostituisce il valore corrente con il livello di priorità della trama in attesa. Questa stazione viene chiamata Stacking Station e sarà suo compito, quando avrà utilizzato il token, di ripristinare il valore iniziale (più basso) della priorità, allo scopo di evitare che le stazioni che avevano chiesto un token a priorità più bassa non possano mai riceverlo. Allora, nell'ipotesi che non vi siano nell'anello altre trame a priorità più elevata in attesa di essere trasmesse, quando il token viene rilasciato dal possessore, l'unità MAC in attesa, quando lo riceve, rileva che la priorità del token è uguale alla priorità della trama che deve essere trasmessa. L'unità MAC in oggetto si impossessa quindi del token assegnando al Bit di Token del campo AC il valore 1 prima di ripeterlo nell'anello, trasformando perciò la sequenza di token in una sequenza di inizio trama di una trama normale. L'unità MAC interrompe poi la ripetizione del flusso di bit in ingresso e fa seguire alla sequenza di inizio trama il contenuto, formattato in precedenza della trama in attesa. Inoltre mentre viene trasmesso il contenuto della trama, viene calcolata la sequenza FCS che viene trasmessa al seguito del contenuto della trama stessa, prima della sequenza di fine trama.

E' da notare che una unità MAC può inviare più trame in uno stesso ciclo di trasmissione se, in primo luogo, i livelli di priorità delle altre trame in attesa sono maggiori o uguali al livello di priorità del token e, in secondo luogo, il tempo totale impiegato per trasmettere le ulteriori trame è compreso entro un limite detto **Tempo di Possesso del Token** (*Token Holding Time*). Il THT è fissato in genere a 10 ms, a meno che non sia stato definito diversamente in fase di configurazione. Quindi, dopo aver avviato la trasmissione di una o più trame, l'unità MAC ne cessa la ripetizione, togliendo dall'anello la trama (o le trame) trasmessa ed analizzando lo stato dei bit A e C del campo FS per determinare se la trama stessa sia stata ignorata oppure copiata dal destinatario. La stessa unità MAC emette poi

un nuovo token e lo trasmette nell'anello per consentire ad un altro DTE in attesa di avere accesso alla rete.

Ricezione della trama

L'unità MAC di ciascuno dei DTE attivi dell'anello, oltre a ripetere il flusso dei bit in ingresso, rivela l'inizio di ogni trama riconoscendo la particolare sequenza di inizio trama. Essa è perciò in grado di determinare se la trama in oggetto debba essere semplicemente ripetuta oppure debba essere copiata: se il campo Tipo di Trama indica che si tratta di una trama MAC la trama viene comunque copiata e i bit di controllo vengono analizzati e, se necessario, cambiati; se la trama è una normale trama dati e l'indirizzo del DTE in oggetto compare nel campo indirizzo del destinatario (come indirizzo individuato di gruppo), il contenuto della trama viene copiato in un buffer di trama e passato all'elaborazione successiva. In entrambi i casi, i valori dei bit A e C e del campo FS in coda alla trama vengono cambiati.

Gestione dell'anello

Affinché il ciclo normale di gestione dell'anello possa svolgersi è necessario prima inizializzare l'anello. Inoltre se un DTE vuole collegarsi ad un anello già operativo, è necessario che svolga una procedura di inizializzazione che lo metta in condizione di non interferire col corretto funzionamento dell'anello esistente. Inoltre, durante il ciclo di funzionamento normale, è necessario che ogni DTE attivo dell'anello ne controlli con continuità il corretto andamento, e, in caso di malfunzionamenti, svolga le opportune azioni per cercare di ristabilire le condizioni di normalità.

Inizializzazione

Quando un DTE è acceso per la prima volta (o è stato resettato) e intende collegarsi all'anello, viene attivata una procedura di inizializzazione, che assicura che nessun altro DTE presente nell'anello sia identificato dallo stesso indirizzo e che informa il DTE situato immediatamente a valle che il DTE in oggetto è rientrato a far parte dell'anello. Tale procedura inizia con la trasmissione della Trama MAC di Prova di Indirizzo Duplicato, DAT Frame (*Duplicate Address Test Mac Frame*) da parte del DTE in questione, che ha il bit A del campo FS con valore 0. Alla ricezione di una trama DAT, ciascun DTE attivo dell'anello legge l'indirizzo di destinazione che vi è contenuto e, se determina che è uguale al proprio indirizzo, attiva il bit A a 1. Quindi se la trama DAT ritorna al DTE che l'ha originata avendo il bit A a 1, il DTE in oggetto informa il Gestore di Rete di questo fatto e ritorna nello stato di by-pass. Il Gestore di Rete determina allora se ritentare l'inserimento nell'anello. Altrimenti, se al ritorno della trama DAT il bit A ha ancora valore 0, il DTE continua la procedura di inizializzazione trasmettendo una Trama MAC di Controllore Passivo Presente, SMP Frame (*Standby Monitor Present MAC Frame*).

Un DTE che riceva una trama SMP con i bit A e C aventi valore 0, assume che tale trama è stata originata dal DTE situato immediatamente a monte e memorizza di conseguenza l'indirizzo sorgente contenuto in quella trama quale Indirizzo del DTE a monte, UNA (*Upstream Neighbours Address*). Questo indirizzo serve per il rilevamento di eventuali malfunzionamenti e per le funzioni di controllo.

Controllore passivo

Dopo aver completato la procedura di inizializzazione il DTE può cominciare a trasmettere e ricevere trame normali e token. Inoltre il DTE entra nello stato di Controllore Passivo per controllare continuamente il corretto funzionamento dell'anello.

Il DTE controlla perciò il passaggio del token e di speciali Trame di Controllore Attivo Presente, AMP Frame (*Active Monitor Present Frame*), che vengono trasmesse periodicamente dal controllore attivo presente. Se non vengono rilevate periodicamente trame token o AMP, il DTE nello stato di controllore passivo, allo scadere di un tempo limite (due orologi sono deputati a questa funzione) passa nello stato di Richiesta del Token.

In questo stato il DTE trasmette continuamente Trame MAC di Richiesta del Token, CT Frame (*Claim Token MAC Frame*), analizzando nel contempo l'indirizzo sorgente delle trame CT che riceve. Ciascuna trama CT trasmessa contiene, oltre all'indirizzo del DTE sorgente, l'indirizzo UNA memorizzato nello stesso DTE. Di conseguenza, se un DTE riceve una trama CT che ha come indirizzo sorgente il proprio indirizzo, e come indirizzo UNA il proprio indirizzo UNA; è chiaro che questa trama CT ha compiuto con successo l'anello completo e quindi il DTE diventa il nuovo controllore attivo dell'anello. Altrimenti, se il DTE riceve una trama CT avente un indirizzo sorgente più elevato del proprio, significa che un altro DTE ha già iniziato la gara per diventare il nuovo controllore e quindi il DTE in oggetto sospende la propria gara, tornando nello stato di controllore passivo.

Controllore attivo

Se il DTE ha successo nella gara che definisce il nuovo controllore attivo (si noti che in un certo istante esiste un solo controllore attivo nell'anello), inserisce il proprio buffer di latenza nell'anello e abilita il proprio clock. Inizia quindi a trasmettere una Trama MAC di Epurazione, PRG Frame (*Purge MAC Frame*) per assicurarsi che non vi siano altri token o altre trame nell'anello prima di iniziare la trasmissione di un nuovo token. Quando il DTE riceve una trama PRG contenente un indirizzo sorgente uguale al proprio indirizzo, l'anello è stato effettivamente epurato. Il DTE (che è il controllore attivo) inizia allora la procedura di avviso ai vicini diffondendo una trama AMP. Dopo un breve intervallo, trasmette un nuovo token.

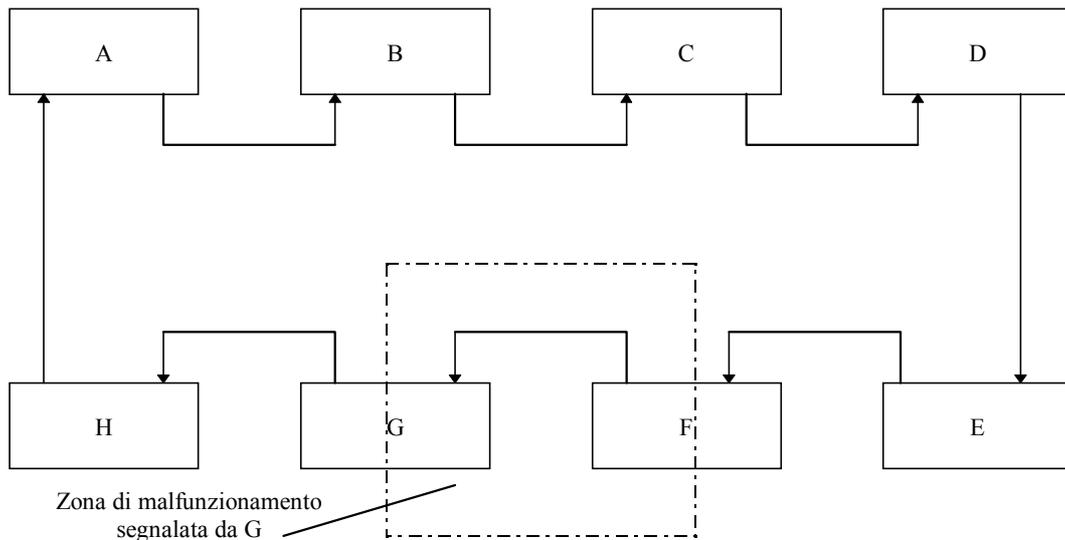
Il DTE immediatamente a valle rileva che il bit A nella trama AMP ha valore 0 e legge dalla trama l'indirizzo UNA che vi compare modificando la propria variabile UNA. Assegna poi ai bit A e C il valore 1 ripete la trama. Il DTE successivo dell'anello rileva che i bit A non hanno valore 0 e quindi si limita a memorizzare il passaggio di una trama AMP, riportando a zero il tempo di guardia corrispondente.

Il DTE immediatamente a valle del controllore attivo, dopo aver ripetuto la trama AMP, continua il processo di notifica emettendo una trama SMP. Il DTE a valle, a sua volta, rileva che il bit A di questa trama ha valore 0, modifica il valore della propria variabile UNA, attiva i bit A e C a 1 e ripete la trama. Esso continua quindi la procedura trasmettendo una trama SMP con i bit A di nuovo al valore 0. Questa procedura è eseguita da tutti i DTE dell'anello ed è reinizializzata dal controllore trasmettendo una nuova trama AMP ad intervalli regolari. In questo modo, ciascun DTE attivo dell'anello può rilevare malfunzionamenti (un DTE che emette continuamente trame token per esempio): l'assenza di trame AMP nell'anello fa scadere i tempi di Richiesta del token seguita, ove il malfunzionamento persistesse, da una procedura di analisi dei guasti nota come Segnalazione, che verrà ora descritta.

Segnalazione

Se nell'anello avviene un grave guasto, come ad esempio la rottura del cavo, tutti i DTE dell'anello sono avvisati del fatto che il protocollo di passaggio del token è sospeso, fino a quando non sia stata localizzata la zona nella quale si è verificato il guasto stesso e non vi sia stato posto rimedio, per mezzo di una procedura nota come Segnalazione (*Beaconing*). La zona del guasto è delimitata da:

- 1) il DTE che rileva il guasto, detto stazione di segnalazione guasto (*beaconing station*);
- 2) il DTE a monte della stazione di segnalazione;
- 3) il mezzo trasmissivo che è tra essi compreso.



Esempio di malfunzionamento

Come esempio in figura è mostrata una zona di guasto nell'ipotesi che si sia verificata una rottura del mezzo trasmissivo tra i DTE F e G. In questo esempio G sarebbe la stazione di segnalazione e F la stazione a monte. Di solito un DTE passa nello stato di segnalazione quando cadono i tempi di guardia relativi al passaggio del token o delle trame AMP. Quando è in questo stato, il DTE trasmette del token o delle trame AMP. Quando è in questo stato, il DTE trasmette continuamente Trame di supervisione di segnalazione, Bcn Frame, (*Beacon Supervisory Frame*), fino a che non viene ricevuta una trama di segnalazione oppure scade un tempo limite. Se scade il tempo limite, viene informato il Gestore di Rete e la trasmissione viene sospesa. Altrimenti se il DTE riceve una trama BCN avente indirizzo sorgente uguale al proprio indirizzo, assume che il guasto sia stato rimediato e il DTE passa nello stato di Richiesta del Token oppure, se un DTE riceve una trama BCN avente un indirizzo sorgente diverso dal proprio, passa nello stato di controllore passivo.

Molte delle procedure descritte sono realizzate da circuiti integrati speciali dell'unità MAC ed il loro funzionamento è trasparente all'utente. Inoltre molte delle procedure di gestione della rete vengono eseguite solo in caso di guasti e quindi il loro peso è complessivamente ridotto.

1.4.3 Rete a bus con metodo di accesso token (*token bus*)

In condizioni di normale funzionamento il modo operativo della rete a bus con metodo di accesso basato sul concetto di token (*token bus*) è simile a quello della rete ad anello con metodo di accesso token. A causa delle differenze esistenti nel metodo di accesso al mezzo trasmissivo (che è broadcast nella rete lineare e sequenziale nella rete ad anello), anche le varie procedure usate per gestire l'anello logico, quali l'inizializzazione e la perdita del token, sono inevitabilmente diverse.

Prima di descrivere le procedure di gestione della rete è utile richiamare due proprietà fondamentali delle reti a bus.

In primo luogo, in una rete a bus, tutti i DTE sono collegati direttamente al mezzo trasmissivo, e quindi quando un DTE trasmette una trama sul mezzo essa viene ricevuta (o sentita) da tutti i DTE attivi della rete;

In secondo luogo, i DTE utilizzano un **time-out** per l'attesa della risposta ad una trama trasmessa, allo scadere del quale assumono che la trama trasmessa è stata corrotta, o che il DTE destinatario è inattivo. Tale intervallo di tempo è noto come slot time ed è definito come segue:

$$\text{Slot Time} = 2 \text{ (ritardo di propagazione + tempo di elaborazione)}$$

dove il ritardo di propagazione (*transmission path delay*) è calcolato come il più elevato ritardo di propagazione che separa trasmettitore e ricevitore ed il tempo di elaborazione (*processing delay*) è l'intervallo di tempo più elevato impiegato dall'unità MAC di un DTE per elaborare una trama ricevuta e generare la risposta. Di solito si aggiunge un margine di sicurezza ed il valore di Slot Time è espresso in unità uguali al tempo di bit arrotondato ad un numero intero di ottetti.

Durante il normale ciclo di funzionamento il token passa da un DTE ad un altro seguendo l'anello logico mediante una piccola Frame (token frame). Ciascun DTE perciò, deve conoscere solo l'indirizzo del DTE immediatamente a valle (detto successore) nell'intervallo logico. Se un DTE non recepisce il token, il DTE mittente attua una serie di procedure di recupero per identificare un nuovo successore che diventano sempre più energiche se non riesce ad avere risposta da nessun DTE vicino.

Il funzionamento di tali procedure di recupero prevede che ogni stazione conosca, oltre al proprio successore, anche l'indirizzo della stazione precedente. Ogni DTE deve quindi conoscere tre indirizzi:

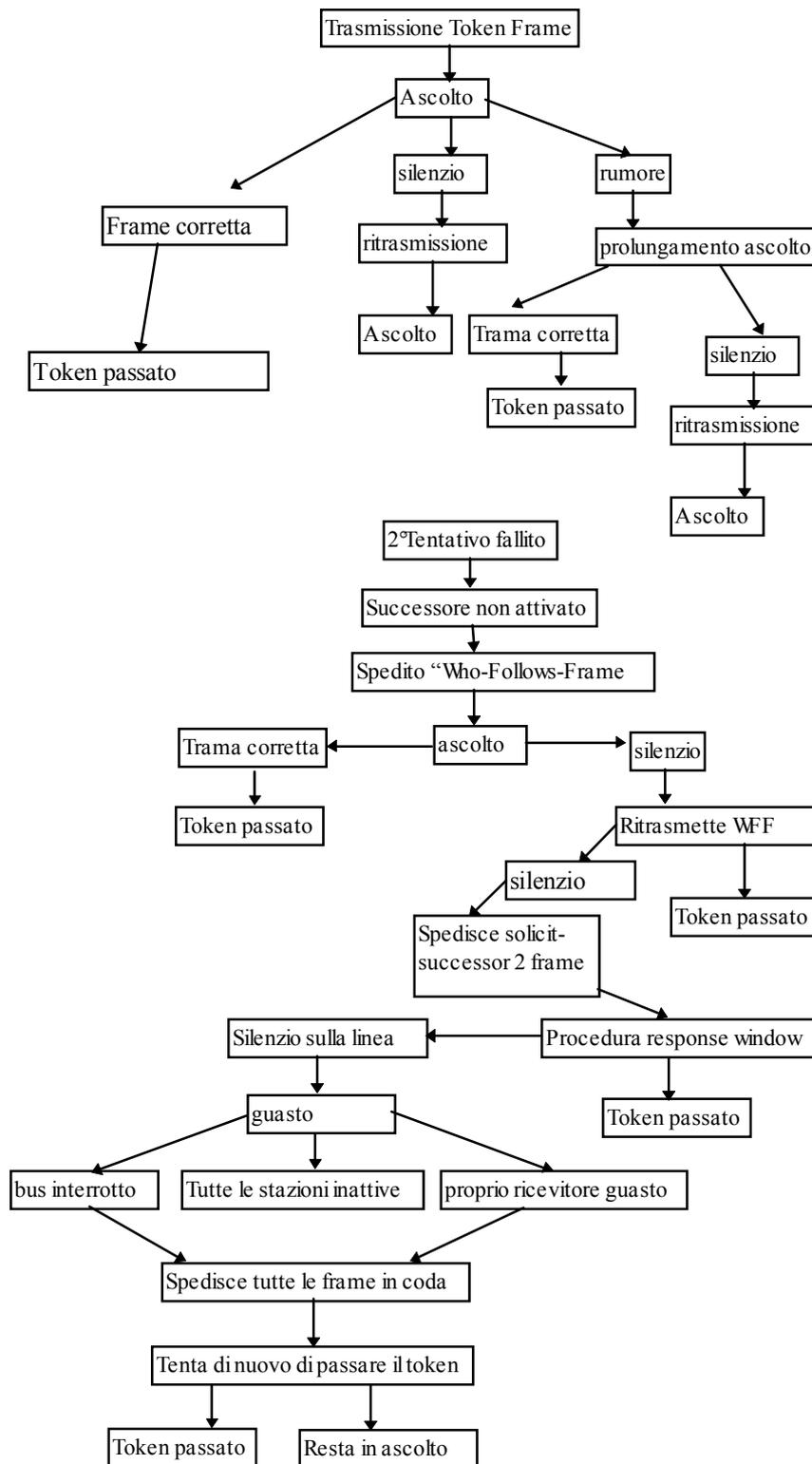
- Stazione precedente: **Previous station,**
- Proprio indirizzo; **This Station,**
- Stazione seguente: **Next Station.**

Altre procedure si occupano di inizializzare l'anello e di garantirne un corretto funzionamento quando i DTE escono ed entrano dall'anello. Sebbene sia possibile definire diversi livelli di priorità per il token, come avviene nel caso del token ring, inizialmente verrà considerato un sistema avente un solo livello di priorità.

Il passaggio del token

Alla ricezione di una trama valida di token un DTE può trasmettere le trame in attesa. Tale DTE passa poi il token al successore (*successor*) che gli è noto. Dopo aver inviato il

token, il DTE controlla l'attività che si svolge sul bus per assicurarsi che il successore sia attivo ed abbia ricevuto correttamente il token. In ogni caso se non rileva la trasmissione di una trama valida entro il time-out (*Slot Time*), intraprende le azioni di recupero.



Se dopo aver inviato il token il DTE sente rumore sulla linea o rileva trame con una sequenza FCS non valida, continua a rimanere in ascolto per un tempo che può essere pari ad altri 4 slot time.

Se non sente niente altro, il DTE assume che il token stesso sia stato alterato durante la trasmissione e perciò ripete la trasmissione del token. Se durante questo intervallo rileva il passaggio di una trama valida, fa nuovamente affidamento sul fatto che il token sia in possesso del successore. Se invece durante questo intervallo rileva un secondo impulso di rumore, lo considera come una trama valida trasmessa dal suo successore e quindi ipotizza che il token sia stato passato correttamente.

Se dopo aver eseguito le procedure descritte il DTE mittente non riceve una risposta corretta entro un intervallo di tempo pari a 4 slot time, ripete l'operazione di passaggio del token e la controlla nel modo visto. Se il successore non risponde nemmeno alla seconda trama token il DTE in oggetto assume che il successore non funziona e procede quindi all'identificazione di un nuovo successore. Il DTE invia quindi una trama detta "*WhoFollowsMe*" che ha nel campo dati l'indirizzo del successore corrente. Alla ricezione di questa trama, che viene trasmessa in broadcast e quindi può essere ascoltata da tutti i DTE presenti, tutti i DTE attivi confrontano l'indirizzo che vi compare con il proprio indirizzo del predecessore (*predecessor address*) che è l'indirizzo del DTE che normalmente passa loro il token. Il DTE che ha come predecessore il successore del DTE che ha inviato questa speciale trama risponde trasmettendo il proprio indirizzo in una trama detta Identificatore del Successore (*SetSuccessor*). Il DTE in possesso del token ha identificato in questo modo il proprio nuovo successore escludendo dall'anello il DTE malfunzionante.

Se il DTE mittente non riceve risposta alla trama *WhoFollowsMe* ne ripete la trasmissione una seconda volta. Se non riceve ancora nessuna risposta il DTE in oggetto intraprende azioni più decise inviando una trama detta *SollecitoSuccessore* (*SolicitSuccessor*) che contiene il proprio indirizzo nel campo indirizzo di destinazione. Questa trama chiede di dare una risposta a tutti i DTE attivi, i quali, se esistono, devono farlo, reinizializzando l'anello logico tramite la procedura "Finestra di Risposta" (*Response Window*). Se il DTE non riceve ancora nessuna risposta ne ricava che è avvenuto un guasto molto grave; per esempio tutti gli altri DTE sono malfunzionanti, o il cavo è rotto, o il lato ricezione dello stesso DTE non funziona e quindi non può sentire le risposte date dagli altri DTE alle sue richieste. In tali condizioni il DTE non trasmette più, continuando ad ascoltare le trasmissioni degli altri DTE.

Finestra di risposta

Questa procedura viene eseguita periodicamente da un initiator per permettere ad altri DTE di entrare nell'anello logico. La finestra di risposta è infatti l'intervallo di tempo in cui il DTE aspetta una risposta dopo aver inviato una trama "*SolicitSuccessor*", ed è perciò uguale allo Slot Time di rete. Ciascuna trama *SolicitSuccessor* trasmessa da un DTE, contiene un campo per l'indirizzo del sorgente e del destinatario e ad essa viene data risposta da parte di un DTE che vuole entrare a far parte dell'anello ed ha un indirizzo compreso tra i due indirizzi specificati. Ciascun DTE invia una trama ad intervalli successivi, quando è in possesso del token.

Quando un DTE invia una trama *SollecitoSuccessore* si dice che ha aperto una finestra di risposta poiché, dopo averla inviata, il mittente attende la risposta per un intervallo di tempo uguale alla durata della Finestra di risposta. Se allora un DTE avente un indirizzo

compreso tra quelli specificati nella trama SollecitoSuccessore è in attesa di entrare nell'anello, risponde inviando una richiesta al mittente della trama per diventarne il successore nell'anello logico. Se il DTE mittente sente la risposta (data con una trama IdentificazioneSuccessore, Accept successor), consente al nuovo DTE di far parte dell'anello, definendolo suo nuovo successore e passandogli il token. E' chiaro che l'intervallo di indirizzi specificato può contenere gli indirizzi di diversi DTE in attesa di entrare nell'anello le cui trame di risposta possono collidere distruttivamente. Se questo succede, il DTE sollecitante attiva una procedura di arbitraggio per selezionare un solo successore fra i vari contendenti, che opera nel modo seguente:

Dopo aver accertato che più di un DTE compreso nel campo indirizzi specificato è in attesa di entrare nell'anello (avendo ricevuto una frame corrotta dalla collisione), il DTE sollecitante inizia ad interrogarli inviando una trama "**Resolve Contention**", fino a che non riceve una risposta positiva. A loro volta, i DTE che hanno risposto alla precedente trama SollecitoSuccessore e che non hanno ancora ricevuto il token, ritardano la trasmissione di un numero di slot pari al valore di primi due bit del loro indirizzo e si mettono in ascolto del traffico sulla linea per questo numero di Slot Time.

Se un DTE rileva trasmissioni in questo intervallo di tempo, ritarda la propria richiesta e attende un'altra occasione per entrare a far parte dell'anello, cioè la prossima apertura di una finestra di risposta. Altrimenti, se non rileva trasmissioni, continua ad attendere la possibile ricezione di una trama di Risoluzione di Contesa. In tal modo viene limitato il ritardo più elevato entro il quale il DTE sollecitante risolve la contesa. In caso di nuova collisione il processo prosegue con le altre coppie di bit di indirizzo. La contesa è risolta al massimo in nove tentativi ($16/2+1$) per indirizzi di 16 bit o in 25 tentativi ($48/2 +1$) per indirizzi di 48 bit.

Il meccanismo di ingresso di una nuova stazione nel ring viene attivata dall'initiator che possiede il token se: sono state trasmesse tutte le frame in coda nella stazione; non è stato superato il massimo tempo di rotazione del token; si è azzerato il contatore "Inter_Solecit" che serve appunto a fare in modo che una stazione con tempo disponibile chiede se qualche stazione vuole entrare nel ring.

Inizializzazione

La procedura di inizializzazione è definita, in effetti, sulla base della procedura di finestra di risposta ora descritta che permette ad un nuovo DTE di entrare in un anello già operativo. Ciascun DTE della rete controlla tutte le trasmissioni sulla linea e, ogni volta che sente una trasmissione riporta un timer, noto come timer di inattività, ad un valore prefissato. All'atto dell'inizializzazione, quando non ci sono ancora token circolanti oppure nel caso che il token venga perso durante il ciclo di normale funzionamento, il timer di inattività raggiunge il proprio valore limite e, se così accade, il DTE entra nella fase di inizializzazione inviando una trama di Richiesta del Token (Claim token frame). Come nel caso precedente, è chiaro che diversi DTE possono tentare di inviare contemporaneamente una trama di richiesta del Token, così che ancora una volta è necessaria una procedura che assicura che venga generato un solo token, favorendo la stazione con indirizzo più basso.

Ciascun potenziale iniziatore trasmette la trama di Richiesta del Token avente un campo informativo di lunghezza pari ad un multiplo di Slot Time. Il fattore di moltiplicazione scelto vale 0, 2, 4 o 6, a seconda dei primi due bit che compongono l'indirizzo di rete del DTE. Dopo aver inviato la sua trama di Richiesta del Token, il DTE attende ancora per un intervallo pari allo Slot Time e quindi si mette in ascolto sul mezzo.

Se rileva una trasmissione, sa che un altro DTE ha inviato un'altra trama di Richiesta del Token più lunga e, in conseguenza di ciò, si ritira dalla gara per il possesso del token. Se invece non rileva nessuna trasmissione, usa la successiva coppia di bit dell'indirizzo e così via, fino ad usare tutti i bit di indirizzo. Se non c'è traffico sulla linea, il DTE è diventato il prossimo possessore del token. Tale DTE continua allora la procedura di inizializzazione usando la procedura di finestra di Risposta vista precedentemente per permettere ad altri DTE in attesa di entrare nell'anello logico.

Sebbene un DTE possa ritirarsi dall'anello logico in un istante qualsiasi, facendo semplicemente a meno di rispondere quando gli viene passato il token, una procedura più corretta contempla che il DTE in oggetto attenda fino al momento di ricevere il token e quindi invii una trama IdentificazioneSuccessore al predecessore che è il DTE che gli ha passato il token, avente l'indirizzo del proprio successore nel campo informativo. Il DTE invia poi il token al suo successore come al solito, pur non facendo più parte dell'anello logico.

Operazioni sulle priorità

Il metodo di accesso usato in una rete a Token Bus distingue quattro livelli di priorità, detti classi di accesso (*Access Classes*), identificati dai numeri: 0, 2, 4 e 6, di cui 0 è il minimo e 6 il massimo. E' come se ogni stazione fosse suddivisa internamente in quattro sottostazioni virtuali (una per ciascun livello di priorità) alle quali il token viene passato rispettivamente dalla priorità più alta alla più bassa. Non tutti i DTE dell'anello usano i livelli di priorità, in tal caso i DTE trattano tutte le trame come se avessero la priorità più elevata.

La trasmissione delle frame in attesa con la priorità più elevata è controllata in modo da assicurare che la capacità (larghezza di banda) disponibile della rete sia suddivisa tra tutti i DTE. Alla ricezione del token, un DTE può inviare tutte le frame ad alta priorità in attesa fino ad un massimo stabilito da un intervallo di tempo noto come "tempo di possesso del token ad alta priorità" (*high priority token-hold-time, THT*) che è settato dal Manager della rete. Questo intervallo di tempo evita che una singola stazione monopolizzi la rete e garantisce ad ogni nodo una porzione fissa di Banda ad alta priorità per qualunque condizione di traffico sulla rete. Naturalmente dopo la scadenza del timer il DTE in oggetto deve passare il token al suo successore. Così, quando un DTE riceve il token, invia per prime tutte le frame ad alta priorità in attesa; quindi, dopo aver trasmesso le frame con priorità maggiore comincia la trasmissione delle frame a priorità più bassa in attesa, usando il seguente algoritmo di controllo:

Ciascun DTE dell'anello gestisce un timer che indica il tempo che è passato da quando lo stesso DTE ha ricevuto l'ultimo token. Questo valore è contenuto in una variabile nota come orologio di rotazione del token TRT (*Token Rotation Timer*). Quindi all'atto della ricezione del token, il DTE trasmette anzitutto tutte le trame ad alta priorità, incrementando il valore TRT, e poi calcola la differenza fra una grandezza nota come "tempo atteso di rotazione del token" TTRT (*Target Token Rotation Time*) e il valore corrente del TRT. Se la differenza è un numero positivo, il DTE può trasmettere tutte le trame a priorità inferiore fino a che non si raggiunga il TTRT; se invece la differenza è zero oppure un numero negativo, il DTE non può trasmettere altre trame e passa il token. I DTE che usano il meccanismo di priorità gestiscono 4 diverse code per le classi di accesso e trasmettono le trame in attesa dalla classe di accesso più alta a quella più bassa fino a che non viene raggiunto il tempo di rotazione atteso.

In breve, quando il token arriva in una stazione viene passato internamente alla sottostazione di priorità 6 che può iniziare a trasmettere le frame, se ne possiede. Al termine (o quando il suo timer scade), il token viene passato internamente alla sottostazione di priorità 4, che può allora trasmettere le frame nel tempo concesso dal suo timer, dopodiché il token viene passato alla sottostazione di priorità 2. Questo processo viene ripetuto finché la stazione di priorità 0 ha inviato tutte le sue frame o il suo tempo è scaduto. Ad ogni modo, a questo punto il token viene trasmesso alla stazione successiva lungo l'anello logico.

In una rete, ogni timer assegnato dovrebbe garantire una minima larghezza di banda a due di queste classi: quella a priorità maggiore e, delle restanti, quella avente il più alto TTRT (classe 4). Se le sottostazioni di priorità superiore non necessitano di tutto il tempo assegnato loro, le sottostazioni di priorità inferiore possono utilizzarlo in modo che non venga sprecato. Il compito di settare i valori dei timer spetta alla "*Station Management*".

Diversamente dalla rete Ethernet, la rete Token Bus, in condizioni di alto carico, continua a produrre un tempo di ritardo finito in quanto viene garantita ad ogni stazione una minima larghezza di banda.

Possiamo riassumere il metodo di utilizzo del token con il seguente algoritmo:

```

if event = token then
  begin (uso del token)
    repeat
      spedisci le frame di classe 6
    until hi_pri_THT=0 or coda(6)=vuota
    if TTRT_class(4)-TRT > 0 then
      begin
        repeat
          spedisci le frame di classe 4
        until TTRT_class(4) - TRT <= 0 or coda(4) = vuota
      end (classe 4)
      .
      .
      .
      idem per le classi inferiori
    end (uso del token)
  end

```

Questo é un algoritmo che permette un autobilanciamento del tempo a disposizione per ogni stazione. Infatti quando una stazione utilizza il token in qualche modo sta allungando il TRT perché sta ritardando l'istante in cui il token ritornerà; viceversa se una stazione non lo utilizza in realtà sta velocizzando il ritorno del token.