

Ethernet e Token Ring

1 Modalità di servizio LLC

Come già detto, il sottolivello LLC (del livello data link) svolge la funzione di rendere trasparenti al livello rete le caratteristiche del mezzo fisico. Esso può fornire al livello rete, a seconda delle implementazioni, tre diverse modalità di servizio:

- **Tipo 1, logical data link:** un servizio non affidabile e connectionless, che in quanto tale rimanda ai livelli superiori le problematiche di affidabilità, ordine di consegna, ecc.
- **Tipo 2, data link connection:** un servizio affidabile e connection-oriented.
- **Tipo 3:** una modalità di servizio **logical data link** alternativa, anch'essa connectionless ma con conferma di ricezione (*acknowledge*) e con ordine di consegna garantito.

2 PDU di livello LLC

La PDU di livello LLC è composta dai seguenti quattro campi:

	Dest. Addr.	Source Addr.	Control	Information
byte	1	1	1-2	max 1497

- *Destination address* e *source address* sono gli *indirizzi LLC* che specificano, rispettivamente, il livello rete del destinatario e del mittente.
- *Control* sono alcune informazioni di controllo.
- *Information* è la SDU (ovvero la PDU di livello rete).

3 Accesso multiplo al mezzo condiviso

Uno dei principali compiti del sottolivello MAC è gestire l'accesso a una canale di comunicazione condiviso, evitando errori dovuti alle **collisioni**, cioè all'interferenza tra trasmissioni simultanee. Questa gestione si basa su un insieme di regole che prende il nome di **protocollo di accesso** al canale. In letteratura, esistono numerosi protocolli di accesso, classificati in:

- **Accesso ordinato**: il diritto di trasmettere sul canale è assegnato a una stazione alla volta, secondo un criterio ben definito, in modo da evitare del tutto il verificarsi delle collisioni.
- **Accesso casuale**: ogni stazione prova a trasmettere quando vuole, quindi è possibile che si verifichino collisioni, che devono essere in qualche modo gestite per evitare che introducano errori nei dati inviati. I protocolli ad accesso casuale si suddividono poi in:
 - **Senza rivelazione del canale**: una stazione che vuole trasmettere lo fa senza prima ascoltare il canale per determinare se fosse già occupato.
 - **Con rivelazione del canale**: prima di trasmettere, una stazione ascolta il canale, e se lo trova occupato rimanda la trasmissione fino a quando esso si libera. Rimane però la possibilità che si verifichino collisioni, ad esempio se due stazioni iniziano a trasmettere contemporaneamente. Perciò, si ha un'ulteriore distinzione tra protocolli **con rivelazione delle collisioni** (che permettono di determinare quando si è verificata una collisione) e protocolli **senza rivelazione delle collisioni**.

4 IEEE 802.3

Lo standard **IEEE 802.3**, noto anche con il nome commerciale **Ethernet**, definisce una rete LAN con *topologia logica a bus*. Il bus è un mezzo condiviso da più stazioni: l'informazione trasmessa da una stazione è ascoltata da tutte le altre.

4.1 CSMA/CD

Per la gestione dell'accesso multiplo al mezzo, lo standard 802.3 adotta il protocollo **CSMA/CD**, **Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection**, che è di tipo ad accesso casuale con rivelazione del canale e delle collisioni:

- *Carrier Sense* significa che una stazione che vuole trasmettere determina se il canale è libero osservando se sul mezzo sia presente o meno la *portante*¹ (carrier);
- *Collision Detection* indica che si tratta appunto di un protocollo con rivelazione delle collisioni.

Quando una stazione ha un frame da trasmettere, essa esegue i seguenti passi:

1. Ascolta il canale (*carrier sense*) per determinare se è libero. Se è occupato, attende finché non si libera.
2. Quando il canale risulta libero, inizia a trasmettere il frame.
3. Durante la trasmissione, continua ad ascoltare il canale (*listen while talking*): se riceve un segnale generato da un'altra stazione, significa che si è verificata una collisione (*collision detection*). In questo caso, interrompe la trasmissione del frame, trasmette una *sequenza di jam* per segnalare la collisione anche alle altre stazioni, attende per un tempo calcolato in base a un algoritmo di **exponential backoff**, e infine riprende il procedimento di trasmissione dal passo 1.
4. Se invece trasmette l'intero frame senza ricevere segnali da altre stazioni, allora non ci sono state collisioni: il procedimento di trasmissione è concluso.

4.1.1 Exponential backoff

Quando si verifica una collisione, se le stazioni coinvolte provassero a ritrasmettere immediatamente (o comunque dopo un tempo prefissato), si riavrebbe subito la stessa collisione. Per risolvere questo problema, è necessario che il tempo di attesa:

- sia diverso per ogni stazione (per quanto possibile);
- tenga conto di eventuali collisioni precedenti.

Lo standard 802.3 prevede che il tempo di attesa sia calcolato secondo un algoritmo chiamato **binary exponential backoff**, che soddisfa entrambi questi criteri. Tale algoritmo consiste nell'estrazione casuale di un tempo di attesa dall'intervallo $T_{\text{slot}} \cdot [0, 2^m - 1]$, dove:

- T_{slot} è il tempo necessario a trasmettere un frame di lunghezza minima (512 bit);
- $m = \min(n, 10)$, e n è il numero di collisioni consecutive.

¹La portante è un segnale "di base" che viene modulato (modificato in qualche modo) per codificare il contenuto informativo da trasmettere.

4.2 Frame 802.3

Il frame (di livello MAC) 802.3 è composto dai seguenti campi:

	Preambolo	SFD	MAC DA	MAC SA	Lunghezza	Dati	Padding	FCS
byte	7	1	6	6	2	0–1500	0–46	4

- **Preambolo:** una sequenza di bit nota, utile per sincronizzare trasmettitore e ricevitore.
- **Starting Frame Delimiter (SFD):** indica l'inizio del frame.
- **MAC Destination Address (DA) e MAC Source Address (SA):** gli indirizzi MAC del nodo destinatario e del nodo mittente, rispettivamente.

Un **indirizzo MAC** è un indirizzo di 6 byte (tipicamente scritto sotto forma di 12 cifre esadecimali, come ad esempio AA:BB:01:C1:D4:37) che identifica univocamente una macchina: ogni macchina mantiene sempre lo stesso indirizzo MAC, ed è garantito che non ci siano due macchine con lo stesso MAC. Infatti:

- i primi 3 byte dell'indirizzo identificano la casa produttrice della scheda di rete;
 - i restanti 3 byte sono un numero univoco assegnato alla scheda di rete dalla casa produttrice (quindi schede di produttori diversi potrebbero avere questo numero uguale, ma in tal caso sarebbe comunque diverso l'identificatore del produttore, garantendo così l'unicità degli indirizzi MAC).
- **Lunghezza:** la lunghezza del campo dati, misurata in byte.
 - **Dati:** la SDU (cioè la PDU di livello LLC).
 - **Padding:** un campo che non ha contenuto informativo, ma serve semplicemente a garantire che il frame raggiunga la lunghezza minima L_{\min} di 64 byte (se la lunghezza del campo dati non è già sufficiente a raggiungere tale requisito).

Imporre una lunghezza minima al frame (e quindi al segnale) serve a garantire che due stazioni agli estremi opposti della LAN possano correttamente rivelare eventuali collisioni. In particolare, dati

- l'estensione d_{\max} della LAN (la lunghezza del cavo tra un estremo e l'altro),
- la velocità di propagazione v di un segnale sul mezzo trasmissivo,
- è il tempo di propagazione $\tau = \frac{d_{\max}}{v}$ di un segnale sul mezzo,
- la frequenza di cifra C (il numero di bit trasmessi nell'unità di tempo, chiamato anche *baud rate*, e misurato in $\frac{\text{bit}}{\text{s}} = \text{bps} = \text{baud}$),

– il tempo $\frac{L_{\min}}{C}$ necessario a trasmettere un frame di lunghezza minima, allora la rivelazione delle collisioni è garantita se vale la relazione

$$\frac{L_{\min}}{C} \geq 2\tau$$

Di conseguenza, l'estensione massima (teorica) di una LAN è data dalla formula

$$d_{\max} \leq v \frac{L_{\min}}{2C}$$

Ad esempio, con $L_{\min} = 2 \text{ bit}$, $v = 200\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ e $C = 10 \text{ Mbps}$ si ottiene circa $d_{\max} \leq 5 \text{ km}$ (ma nelle implementazioni reali si ha $d_{\max} \leq 2.5 \text{ km}$, per via di altri fattori come l'attenuazione del segnale, ecc.).

- **Frame Check Sequence (FCS)**: una **checksum**, cioè dei bit che permettono di rivelare, tramite un apposito algoritmo, la presenza di eventuali errori di trasmissione (bit del frame che erano a 1 e sono diventati 0, o viceversa).

4.3 Versioni di Ethernet

Esistono diverse versioni dello standard Ethernet, che si differenziano per:

- il mezzo fisico impiegato: *cavo coassiale* (ormai obsoleto), *doppino intrecciato* o *fibra ottica*;
- la frequenza di cifra;
- la topologia fisica;
- la lunghezza massima di un segmento/collegamento di rete (cioè di un cavo senza ripetitori o altri dispositivi del genere, al quale possono essere connesse due o più stazioni);
- il numero massimo di stazioni connesse a un segmento;
- la comunicazione half-duplex o full-duplex.

Alcune delle principali versioni di Ethernet a 10 Mbps sono:

- 10BASE5 e 10BASE2, che utilizzano cavi coassiali;
- 10BASE-T, basato su un doppino intrecciato;
- 10BASE-FP, 10BASE-FL e 10BASE-FB, basati su fibra ottica.

A 100 Mbps si hanno principalmente:

- 100BASE-TX, 100BASE-T4 e 100BASE-T2 a doppino intrecciato;
- 100BASE-FX a fibra ottica.

Le principali versioni con frequenza di cifra di 1 Gbps sono invece:

- 1000BASE-SX e 1000BASE-LX, a fibra ottica;
- 1000BASE-CX e 1000BASE-T, a doppino intrecciato.

5 IEEE 802.5

Lo standard **IEEE 802.5**, chiamato anche **Token Ring**, specifica una rete locale con *topologia logica ad anello*,² nella quale viene usato un protocollo di accesso multiplo *ordinato*. Il diritto di accedere al mezzo è infatti acquisito mediante un apposito **token** (gettone), una sequenza di bit che circola perennemente nell'anello, passando da una stazione alla successiva.

Quando una stazione vuole trasmettere, attende l'arrivo del token, lo cattura, e trasmette il frame alla stazione successiva dell'anello. Man mano che il frame percorre l'anello, ciascuna stazione:

- legge dall'header l'indirizzo MAC del destinatario, per determinare se il messaggio è indirizzato a essa oppure no (e quindi se passarlo al livello di rete oppure ignorarlo);
- ritrasmette il frame alla stazione successiva.

Quando il frame, avendo compiuto un "giro" completo della rete, torna al mittente, quest'ultimo lo rimuove dall'anello (ovvero non lo ritrasmette), e rimette invece in circolazione il token.

Per evitare di monopolizzare il canale, ciascuna stazione non può trattenere il token per più di un determinato tempo massimo. Comunque, l'uso di un protocollo ad accesso ordinato comporta maggiori ritardi e un utilizzo meno efficace delle risorse, anche se magari con una maggiore affidabilità rispetto a un protocollo ad accesso casuale.

5.1 Frame 802.5

Il frame 802.5 è composto da:

	SD	AC	FC	MAC DA	MAC SA	Dati	FCS	ED	FS
byte	1	1	1	6	6		4	1	1

- **Starting Delimiter (SD)**: una sequenza di bit che indica l'inizio del frame;

²La topologia fisica può essere anch'essa ad anello (tipicamente un "doppio anello contro-rotante", cioè due anelli in direzioni opposte, per avere dei collegamenti di ridondanza), ma in pratica è più spesso una stella.

- **Access Control (AC)**: indica se questo è un frame o un token;
- **Frame Control (FC)**: distingue i frame che contengono dati dai frame che contengono informazioni di controllo per la gestione della rete;
- **MAC Destination Address (DA)** e **MAC Source Address (SA)**;
- **dati**: la SDU (ovvero la PDU di livello LLC);
- **Frame Check Sequence (FCS)**: una checksum per la rivelazione degli errori;
- **Ending Delimiter (ED)**: una sequenza di bit che indica la fine del frame;
- **Frame Status (FS)**: contiene segnali della stazione destinataria (ad esempio l'indicazione che essa ha ricevuto correttamente il frame).