

Le reti Ethernet e il data link

Dopo la fine degli anni '70 si diffusero rapidamente sul mercato, soprattutto statunitense, le reti LAN, reti di calcolatori locali con uso di canali trasmissivi ad alta velocità e a basso costo. Con tale rapida diffusione nacquero però problemi relativi alla standardizzazione di queste reti. Quando le prime LAN cominciarono a diffondersi (ARC, Ethernet, Token Ring, ecc.), l'IEEE organismo di riferimento per gli standard delle reti locali, decise di costituire sei comitati per studiare il problema della standardizzazione delle reti, raccolti nel progetto **IEEE 802**.

Secondo l'IEEE,

" una LAN è un sistema di comunicazione che consente ad apparecchiature indipendenti di comunicare tra di loro entro un'**area delimitata** utilizzando un canale fisico a **velocità elevata** e a **basso tasso di errore**."

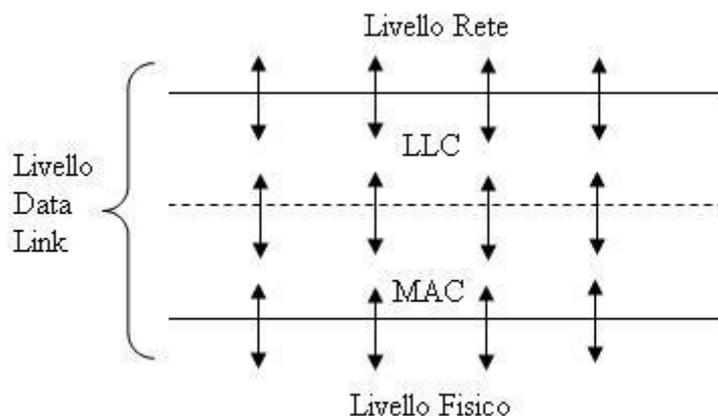
In particolare l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) , attraverso il progetto IEEE 802, che si inquadra nei primi due livelli del modello ISO-OSI ha sviluppato una serie di standard per le LAN : esso standardizza quindi il livello fisico e il livello di collegamento (data link) delle reti LAN.

IEEE 802 introduce l'idea che le reti devono fornire un'**interfaccia unificata** verso il livello Network (livello rete), pur utilizzando tecnologie trasmissive differenziate. Per ottenere tale risultato, il progetto IEEE 802 suddivide il secondo livello ISO/OSI (Data Link) in due sottolivelli:

- **LLC (Logical Link Control)**;
- **MAC (Media Access Control)**.

Il primo sottolivello detto **LLC** (Logical Link Control) è comune a tutti i tipi di LAN e ha lo scopo di fornire un'interfaccia unificata con il livello superiore (livello network o di rete);

Il secondo sottolivello detto **MAC** (Media Access Control), è diverso per ciascun tipo di LAN ed è in funzione del relativo livello (physical layer) dal quale è strettamente dipendente.



Il sottolivello LLC è descritto nell'apposito standard IEEE **802.2**, mentre i vari MAC sono descritti negli standard specifici di ogni rete locale (ad esempio il MAC CSMA/CD o comunemente detto

Ethernet è descritto nello standard IEEE **802.3**)

I documenti più importanti elaborati dai gruppi di lavoro del comitato IEEE 802 sono sei, il primo introduce l'insieme degli standard dell'architettura di rete e definisce l'architettura del modello 802, il secondo standardizza il livello LLC, i successivi trattano le possibili configurazioni MAC con cui implementare la rete

- 802.1 - Overview, Architecture, Bridging and Management ,
- **802.2 - Logical Link Control;**
- **802.3** - standardizza CSMA/CD (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection) noto anche come **Ethernet**;
- 802.4 - standardizza il protocollo **Token Bus**;
- 802.5 - standardizza il protocollo **Token Ring**;
- 802.6 Metropolitan Area Networks - DQDB (Distributed Queue, Dual Bus)

A tali comitati in seguito se ne sono aggiunti altri tra cui:

- 802.8 Fiber-optic technical advisory group;
- 802.10 Network security;
- 802.11 Wireless network

Il lavoro di tali comitati si svolse in armonia con il modello di riferimento OSI e lo standard EIA/TIA 568 relativo al cablaggio delle LAN stesse.

Il sottolivello MAC

Il sottolivello MAC si occupa di tutti i problemi relativi all'accesso al mezzo fisico trasmissivo. Come primo compito deve regolare **l'accesso dei nodi della rete LAN al canale di comunicazione condiviso** evitando o gestendo le eventuali collisioni. Le collisioni possono verificarsi quando due o più nodi si trovano a trasmettere simultaneamente e il livello MAC, in base ad opportuni algoritmi, determina **chi può utilizzare il mezzo trasmissivo in un certo momento**. Esistono molti algoritmi e protocolli standard per il controllo dell'accesso multiplo. Il MAC IEEE 802.3 (Ethernet) adotta l'algoritmo CSMA/CD mentre il MAC IEEE 802.11 (WLAN) si basa sull'algoritmo CSMA/CA.

A livello MAC inoltre si definisce il formato della trama o frame, assemblando o disassemblando i dati con l'indirizzo sorgente, di destinazione ed il campo per il controllo degli errori, si controlla la lunghezza minima, si effettua un minimo controllo di errore con lo scarto dei frame errati.

802.3 Ethernet

Ethernet è il tipo più diffuso di rete locale che esista al mondo .

La sua storia ha inizio nei primi anni Settanta presso il Palo Alto Research Center (PARC), il laboratorio di ricerca di Xerox, per opera di Robert Metcalfe e David Bloggs. Il lavoro iniziò intorno al 1972, ma solo nel dicembre del 1980 vi fu la prima versione utilizzabile, dovuta all'iniziativa congiunta di Xerox, Digital e Intel. Nel 1982 lo standard iniziale fu sostituito dalla versione 2.0, detta Ethernet II oppure DIX (Digital, Intel, Xerox). Nello stesso tempo IEEE basandosi su Ethernet pubblicò nel 1983 il documento **IEEE 802.3 in cui si definiscono le specifiche elettriche e fisiche per una rete Ethernet** a 10 Mbit per secondo su cavo coassiale. Successivamente il documento è stato perfezionato a più riprese, fu approvato dall'ISO, e oggi si

indicano come Ethernet tutti i dispositivi conformi alle specifiche 802.3.

Nella prima versione di Ethernet è stata utilizzata la topologia a bus, dove tutte le stazioni condividevano il mezzo trasmissivo cavo coassiale; con l'utilizzo di dispositivi di rete quali gli hub e switch si ottenne una nuova versione di Ethernet con **un collegamento fisico a stella**. I mezzi trasmissivi utilizzati sono il doppino UTP e la fibra ottica

I dispositivi, per connettersi a una rete Ethernet, devono essere dotati di una scheda di rete detta comunemente **NIC** (Network Interface Card) e possiede un **indirizzo univoco** a livello mondiale, chiamato **MAC Address**, costituito da un codice di 6 ottetti (6 byte) espresso in forma esadecimale (6 byte da 8 bit = 48 bit). I primi 3 ottetti sono detti **OUI** (Organizationally Unique Identifier) e si riferiscono all'azienda produttrice, gli altri 3 sono il numero seriale progressivo identificativo della singola scheda prodotta da quella azienda. Ogni scheda ha un indirizzo unico perché i primi 24 bit sono identificativi della casa produttrice e i successivi della scheda. In questo modo ogni casa produttrice ha a disposizione 2^{24} indirizzi, quindi può produrre più di 16 milioni di schede; se un produttore ne produce meno, gli indirizzi (a 48 bit) non assegnati vengono persi, non potendo essere utilizzati da altri costruttori. Il documento che contiene la classificazione della codifica dei costruttori viene mantenuto costantemente aggiornato dall'IEEE.

Gli ottetti, solitamente rappresentati in formato esadecimale, sono separati con un trattino o con i due punti. La conversione tra indirizzo MAC e indirizzo IP avviene mediante alcuni protocolli, il più conosciuto è l'ARP (Address Resolution Protocol)

Per visualizzare l'indirizzo MAC del proprio PC i sistemi operativi forniscono in genere un comando specifico: su Windows è ipconfig /all mentre su Linux ifconfig-a. Il comando arp -a visualizza l'intera ARP cache dell'eventuale rete locale a cui il PC è connesso

L'indirizzo MAC, detto anche **physical address, hardware address o BIA** (Burn in Address), si trova nella memoria ROM della NIC e viene copiato in RAM all'inizializzazione del NIC. Sebbene il MAC sia permanente, esistono alcuni metodi detti **MAC spoofing** che permettono di modificarlo. In ogni caso queste modifiche sono puramente software e non permanenti: al riavvio del sistema viene ripristinato l'indirizzo MAC originale memorizzato all'interno della NIC.

Un esempio di indirizzo MAC è "00-18-74-4C-7F-1D". Confrontando i primi tre ottetti con le assegnazioni OUI si può osservare come esso appartenga alla CISCO mentre gli ultimi tre ottetti rappresentano il numero seriale assegnato al componente dal produttore.

Formato del frame Ethernet (IEEE 802.3)

L'unità di informazione (PDU) del livello datalink è detta trama o **frame** e permette di separare il flusso dei dati in unità più piccole e quindi più facilmente controllabili di dimensione variabile, nello standard originario, tra i 64 e i 1518 byte. Il formato del pacchetto è il seguente:

7 byte	1 byte	6 byte	6 byte	2 byte	46-1500 byte	4 byte
Preamble	Start frame	Destination	Source	Length	Data +Pad	Fcs

- **Preamble (Preambolo)** E' una sequenza di 7 byte che consente di sincronizzare il ricevente prima dell'arrivo dei dati significativi. Ciascun byte contiene la sequenza di bit 10101010. La codifica Manchester di questa sequenza produce un'onda quadra a 10 Mhz della durata di 5 microsecondi per consentire al clock del ricevitore di sincronizzarsi con quello del trasmettitore.
- **Start frame field (Inizio Frame)** campo composto da un byte, impostato a 10101011 (in esadecimale AB). Gli ultimi due 1 segnalano la fine del segnale di sincronismo e l'inizio del frame vero e proprio.
- **MAC destination (Indirizzo MAC destinazione)** 6 byte del MAC address della scheda di rete del destinatario

- **MAC Source (Indirizzo MAC sorgente)** 6 byte del MAC address della scheda di rete del sorgente
- **Length (Lunghezza dei dati)** Lunghezza dei dati da 0 a 1500 byte
- **Data(Informazioni)** Sono i dati veri e propri che verranno trasmessi con questo frame. I dati possono ammontare al massimo a 1500 byte.
- **Pad** Ha una lunghezza variabile tra 0 e 46 byte e viene introdotto per garantire che la lunghezza minima del pacchetto non sia inferiore a 46 byte. Questo valore minimo del pacchetto è necessario per un corretto funzionamento del protocollo CSMA/CD
- **Frame check sequence (FCS)** È una sequenza di controllo del frame di 4 byte, è un codice CRC che attraverso l'uso del polinomio AUTODIN II (controllo di ridondanza ciclica a 32 bit) verifica l'integrità del frame.

L'interframe spacing viene definito come **il minimo spazio tra 2 frame** ed è almeno 96 bit. Si misura dall'ultimo bit dell'FCS al primo bit del preambolo del secondo frame e regola la trasmissione tra un frame e l'altro. Se una scheda non rispetta questo tempo continua a trasmettere e monopolizza il suo segmento. Il tempo di pausa tra le due trasmissioni è detto **IFG (Internet Frame Gap)**.

Le collisioni in Ethernet

Uno dei compiti del sottolivello MAC è gestire l'accesso condiviso al mezzo trasmissivo.

Il protocollo di accesso usato da Ethernet è di tipo **non deterministico** o **ad accesso casuale**: il nodo che trasmette non ha accesso esclusivo al canale, e quindi si possono creare delle collisioni che devono essere gestite con un apposito algoritmo detto CRA, **Collision Resolution Algorithm**.

La modalità utilizzata è la **tecnica a contesa CSMA/CD** che può essere descritta come:

Carrier Sense: ogni stazione sulla rete locale "ascolta" il mezzo trasmissivo

Multiple Access: il mezzo trasmissivo è condiviso

with Collision Detection: ogni stazione sa rilevare la presenza di collisioni dovute alla trasmissione simultanea e agire di conseguenza.

La tecnica risale al 1970 e rappresenta una pietra miliare nella storia delle reti e di Internet.

Questa tecnica si avvale di due blocchi di procedure:

CAP (Channel Access Procedure) è l'insieme delle procedure che la stazione svolge per accedere al canale

CRA (Channel Resolution Algorithm) è l'insieme delle procedure che la stazione svolge per rilevare e recuperare situazioni di collisione.

Prima di trasmettere una stazione guarda se la linea è libera (**idle**). Se è occupata (**busy**) aspetta un tempo casuale (**strategia di backoff**) prima di riprovare. Se è libera inizia a trasmettere e ascolta che nessun altro inizi a trasmettere.

Con CSMA/CD può accadere che due o più stazioni inviino contemporaneamente i loro messaggi, producendo una trasmissione confusa detta **collisione**.

Le collisioni non sono errori, ma un meccanismo di trasmissione regolato dal protocollo CSMA/CD.

Se si verifica una collisione l'ampiezza del segnale diventa maggiore, il primo trasmettitore che si accorge della collisione trasmette un **jam signal** (0 e 1 alternati), cioè un segnale di disturbo, per essere certi che tutti si accorgano della collisione. Le stazioni riceventi ignorano la trasmissione confusa, mentre le stazioni trasmittenti sospendono immediatamente la trasmissione non appena rilevano una collisione. Una volta che tutti si sono accorti della collisione viene eseguito un algoritmo di backoff che aspetta un tempo casuale e poi si riprova a trasmettere. Ogni stazione genera un diverso numero casuale, che determina il tempo di attesa: infatti se tutte le stazioni trasmittenti attendessero lo stesso intervallo di tempo prima di ritrasmettere, sarebbe molto

probabile un'altra collisione.

Il **Round Trip Time** o **Round Trip Delay (RTT)** è la misura del tempo impiegato da un pacchetto per viaggiare da un computer della rete ad un altro e tornare indietro.

Lo **slot time (ST)** è il tempo che impiega la trama più piccola a compiere il tragitto di massima distanza tra due nodi della rete, ed è il tempo base di attesa prima di una ritrasmissione.

Condizione necessaria per la rilevazione della collisione da parte di una stazione trasmittente è che il tempo di trasmissione, cioè il tempo di immissione in rete della trama più piccola sia maggiore o al più uguale al tempo massimo di andata e ritorno di un pacchetto di identica dimensione: cioè $ST \geq RTT$.

Viene definito **frame di collisione** il frame parziale trasmesso da una stazione quando si verifica la collisione. Esso è dato dall'insieme dei bit trasmessi+jam bit. Viene definito **collision window** l'intervallo di tempo entro il quale la stazione deve accorgersi della collisione. Se la collisione viene rilevata entro la finestra non si riporta nulla dell'accaduto ai layer superiori, altrimenti la trasmissione viene data per corretta, il frame non viene ritrasmesso e l'errore verrà rilevato a livello superiore (late collision).

All'aumentare del numero di nodi sulla rete cresce il traffico e quindi anche il numero di collisioni cresce, per cui il tempo impiegato per rispondere alle collisioni e per ritrasmettere può causare un deterioramento delle prestazioni della LAN. Per questo risultano fondamentali dispositivi che spezzano il domino di collisione come gli switch.

Gli errori in Ethernet

Sulla rete Ethernet possono verificarsi errori di diversa natura

errori legati alla **lunghezza del frame**

- Jabber, long frame and range errors- Trasmissione troppo lunga o di lunghezza "illegale".
- Short frame, collision fragment or runt – Trasmissione troppo corta

errori di **allineamento**

- Alignment error – Numero di bit trasmessi insufficienti o eccessivi.

errori di **inconsistenza**

- Range error – Il numero di ottetti effettivi ed il numero riportato non corrispondono.
- Ghost or jabber – Preamble lungo, sfd errato o presenza di jam signal

Errori di **parità**

- FCS error -Trasmissione con dati corrotti se una stazione ha un alto numero di errori di parità la NIC può essere difettosa, il cavo ha problemi o sono rovinati i driver

errori di **collisione**

- Late collision -Trasmissioni contemporanee che avvengono dopo che è passato uno slot time.

Tipologie di rete Ethernet

Ethernet deve il suo successo alla semplicità di implementazione, all'economicità e alla flessibilità nella sostituzione dei mezzi fisici e dei dispositivi di rete.

Ad oggi, esistono diverse tipi di Ethernet: le Ethernet (10 Mbps), e Fast Ethernet (100 Mbps), Giga bit Ethernet (1000 Mbps).

Ethernet 10 Mbps

Sono le cosiddette Legacy Ethernet, tipologie obsolete ma che continuano ad essere utilizzate perchè funzionanti e perchè la loro sostituzione provocherebbe costi più alti dei benefici.

Le principali sono:

10Base-5: nasce nel 1980, utilizza un cavo tick, topologia a bus

10Base-2: introdotta nel 1985, utilizza un cavo thin, topologia a bus

10 Base-T: diffusa dagli anni '90 utilizza un cavo Twister UTP3 e introduce i connettori RJ45, topologia a stella con hub centrale

10 Base-F utilizza cavi in fibra ottica utilizzata in genere per le dorsali di campus

Ethernet 100 Base-T (Fast Ethernet)

Sono la naturale evoluzione delle 10BaseX delle quali conservano le caratteristiche. Si dividono in 100Base-T4 con cavi cat.3-4

100Base-TX con cavi UTP5, STP1

100 Base-FX con cavi in fibra ottica

Ethernet a 1 e 10 Gigabit (Gigabit Ethernet)

Utilizzano sia mezzi in rame che in fibra e sono impiegate per connessioni a alta velocità o per backbone.

IEEE 802.2 - Il sottolivello LLC

Il sottolivello Logical Link Control (**LLC**) si colloca al di sopra del sottolivello MAC, sempre nel datalink, il livello 2 modello ISO-OSI. È un protocollo di comunicazione definito dal gruppo di lavoro IEEE **802.2**.

L'utilizzo di LLC ha due scopi principali:

- servire da **intermediario** tra il sottolivello MAC e il livello di rete, offrendo un'interfaccia indipendente dai tipi di LAN sottostanti (Ethernet, token ring ecc);
- fornire al livello superiore, il Network, un **servizio più sofisticato** di quello offerto dai vari sottolivelli MAC (che offrono solo servizi a datagramma non affidabili).
- I dati provenienti dal livello superiore vengono incapsulati in una unità di trasmissione (Protocol Data Unit, **PDU**) del livello LLC e opportunamente trasferiti al livello MAC, che ne cura la trasmissione sul mezzo fisico prescelto; viceversa le unità di trasmissione provenienti dal livello MAC vengono elaborate secondo i criteri definiti dal protocollo e quindi inoltrate al livello superiore.

I servizi offerti da LLC sono di tre tipi :

- Unacknowledged Connectionless Service (LLC Type 1). In questa modalità il trasferimento dati è non connesso senza conferma (utilizzato da Decnet e TCP/IP). È un servizio a **datagramma non affidabile** che non aggiunge nulla alla modalità prevista dal MAC:
- Semireliable Service (LLC Type 3). In questa modalità il trasferimento dati è non connesso, ma con conferma. servizio a **datagramma confermato** che prevede, al momento della ricezione di un frame, l'invio di un ack di corretta ricezione; il mancato ricevimento, da parte della sorgente, della conferma comporta la ritrasmissione della trama non confermata;
- Connection Oriented Service (LLC Type 2). In questa modalità vengono creati dei circuiti virtuali tra mittente e destinatario prima di effettuare la trasmissione servizio affidabile **orientato alla connessione**; prevede l'instaurazione di una connessione, l'invio dei dati e la chiusura della connessione, garantendo così che ogni trama sia consegnata correttamente e nell'ordine giusto.

Il protocollo adottato per LLC è una versione semplificata di HDLC.

La trama di questo sottolivello, la LLC-PDU prevede due campi indirizzo (Source e Destination), un campo Control ed un campo Information.

MAC PDU

Preamble	Start frame	Destination	Source	Length	Data	Fcs
----------	-------------	-------------	--------	--------	------	-----

LLC PDU



1 byte	1 byte	1-2 byte	
DSAP	SSAP	Control	Data

LLC Header

LLC Data

DSAP address (indirizzo Service Access Point di destinazione)

SSAP address (indirizzo Service Access Point di origine)

Control (Controllo)

Information (Dati): 0 o più byte non è stabilito un limite massimo,

Lista standard

Lista dei gruppi del comitato 802:

- IEEE 802.1 Protocolli LAN di più alto livello
- IEEE 802.2 Logical Link Control
- IEEE 802.3 Ethernet
- IEEE 802.4 Token bus (dismesso)
- IEEE 802.5 Token Ring
- IEEE 802.6 DQDB - Distributed Queue Dual Bus (dismesso)
- IEEE 802.7 Broadband TAG (dismesso)
- IEEE 802.8 Fiber Optic TAG (dismesso)
- IEEE 802.9 Integrated Services LAN (dismesso)
- IEEE 802.10 Interoperable LAN Security (dismesso)
- IEEE 802.11 Wireless local area network
- IEEE 802.12 demand priority
- IEEE 802.13 (non utilizzato)

- IEEE 802.14 Cable modem (dismesso)
- IEEE 802.15 Wireless personal area network
 - IEEE 802.15.3a: Standard per reti WPAN in via di sviluppo.
 - IEEE 802.15.4a: Standard per reti WPAN in via di sviluppo.
- IEEE 802.16 WiMAX - Broadband wireless access
- IEEE 802.17 Resilient packet ring
- IEEE 802.18 Radio Regulatory TAG
- IEEE 802.19 Coexistence TAG
- IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access
- IEEE 802.21 Media Independent Handoff
- IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network