

Capitolo 5: Le Reti locali

5.1. Introduzione

La crescente diffusione di sistemi informatici distribuiti e la disponibilità di grandi capacità elaborative a basso costo ha determinato la nascita e lo sviluppo delle reti locali (**LAN**) a partire dalla fine degli anni '70.

Nelle reti locali tutte le stazioni condividono lo stesso canale trasmissivo, generalmente ad alta velocità. Quando una stazione ottiene l'accesso alla trasmissione, essa occupa temporaneamente tutta la banda disponibile per il tempo necessario a trasmettere uno o più pacchetti. Tipicamente, i pacchetti immessi sulla rete sono ricevuti da tutte le stazioni presenti sulla LAN e perciò la trasmissione è di tipo "broadcast". Ogni pacchetto contiene l'indirizzo di destinazione, oltre a quello della stazione trasmittente, e può però essere recuperato dalla stazione ricevente.

Le principali proprietà e caratteristiche delle reti locali sono:

- *elevate velocità*. Infatti le reti LAN più diffuse oggi operano a velocità tra i 10 Mbit/sec e i 100 Mbit/sec;
- *basse probabilità di errore*. Le reti LAN, a causa delle estensioni ridotte, possono consentire di raggiungere velocità di trasmissione molto basse, per cui non sono generalmente utilizzate tecniche di controllo degli errori;
- *elevata affidabilità*. Le reti locali, se opportunamente progettate, possono continuare ad operare anche in presenza di guasti o malfunzionamenti;
- *espansibilità*. Le reti locali possono essere progettate in modo da crescere nel tempo secondo le esigenze dell'utente senza significativi cambiamenti nella rete;
- *basso costo*. Le reti locali hanno ormai raggiunto una elevata diffusione in tutti gli ambienti e presentano per questo motivo un costo complessivo abbastanza modesto.

Questi importanti vantaggi possono essere ottenuti mediante un'opportuna progettazione e realizzazione della rete. Le reti LAN non rispettano generalmente gli standard CCITT o ISO per una serie di motivi, tra cui i principali sono:

- le reti locali sono spesso nate in modo sperimentale;
- sono reti private;
- gli standard CCITT o ISO sono spesso troppo rigidi e talvolta richiedono troppo tempo per essere emanati.

Per consentire uno sviluppo non-proprietario e per garantire l'interconnessione di reti diverse, lo sviluppo di norme e di standard nelle reti locali è un aspetto essenziale. Per questo motivo, l'associazione degli ingegneri elettronici americani IEEE ha costituito il gruppo **IEEE 802**, composto da vari comitati, per lo sviluppo di standard per le reti LAN e MAN. Questo gruppo ha prodotto una serie di standard riportati nella tabella 5.1 e rappresenta oggi il punto di riferimento per tutte le attività nel settore delle reti locali. I comitati IEEE definiscono le caratteristiche dei prodotti e della rete locale. Il problema della realizzazione fisica della rete (**cablaggio**) è stato affrontato alla fine degli anni '80 e sono

state emanate dall'associazione EIA norme relative al cablaggio di una rete LAN; queste norme sono state raccolte nello standard EIA/TIA 568.

COMITATO IEEE	STANDARD LAN
802.1	Architettura, Gestione
802.2	LLC
802.3	CSMA/CD
802.bis	100 Baset
802.4	Token bus
802.5	Token ring
802.6	DQDB - rete MAN
802.7	Broadband technical advisory group
802.8	Fiber - optic technical advisory group
802.9	Reti fonia-dati integrate
802.10	Sicurezza
802.11	Wireless
802.12	100VG - Any LAN

Tabella 5.1: Comitati IEEE per le reti locali.

In sintesi, si può perciò affermare che la progettazione e realizzazione di una rete LAN investe due problematiche, come mostrato nella Figura 5.1:

- *la struttura trasmissiva (protocolli, modalità di gestione dei collegamenti, ...) regolata dagli standard IEEE 802;*
- *il cablaggio della rete, regolato dalle norme EIA/TIA 568 e ISO/IEC 11801.*



Figura 5.1. Progettazione di una rete locale.

5.2. Struttura trasmissiva di una rete locale

Il gruppo IEEE 802 ha definito una struttura generale di una rete locale basata su una suddivisione in livelli, come nel caso del modello OSI. Tuttavia, per una serie di motivi, non è stato possibile mantenere una corrispondenza precisa tra il modello OSI e quello sviluppato per le reti locali.

Il concetto alla base dello sviluppo degli standard IEEE 802 è che le reti LAN o MAN devono fornire un'interfaccia unificata verso il livello di rete, anche se utilizzano tecnologie trasmissive diverse. Per questo motivo il gruppo IEEE 802 definisce soltanto i livelli inferiori, che corrispondono al livello fisico e di link del modello OSI, come mostrato nella Figura 5.2.

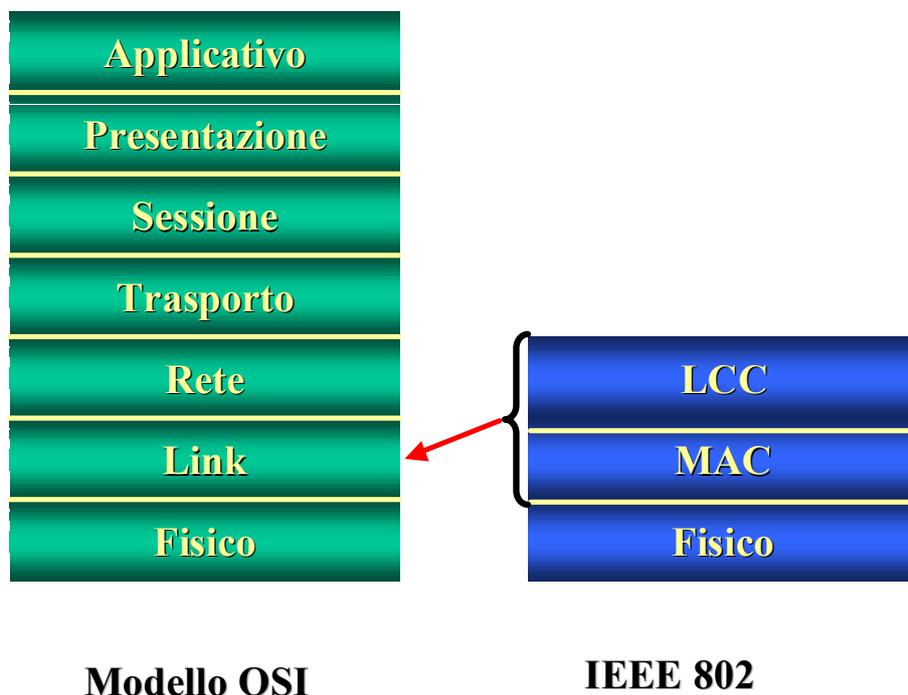


Figura 5.2. Modello OSI e IEEE 802.

Il modello proposto da IEEE 802 divide i due livelli inferiori (livelli fisico e di collegamento) in tre sottolivelli:

1. **livello fisico;**
2. **livello MAC (Medium Access Control);**
3. **livello LLC (Logical Link Control).**

Il livello fisico specifica le caratteristiche dei segnali per la trasmissione sul mezzo fisico (cavo coassiale, doppino, fibra ottica).

Il livello MAC caratterizza le modalità per la condivisione del mezzo trasmissivo tra gli utenti. *Questo livello è specifico per ogni LAN* ed esistono diversi protocolli di livello MAC. Il livello MAC è generalmente realizzato sulla scheda di rete e quindi mediante un'apposita struttura hardware.

Il livello LLC è comune a tutte le reti locali, poiché specifica l'interfaccia unificata verso il livello di rete. Il livello LLC è descritto dallo standard IEEE 802.2. Il livello LLC è realizzato generalmente via software.

Livello MAC

Il livello MAC rappresenta l'elemento centrale nel funzionamento della rete locale, poiché gestisce l'accesso alla rete da parte degli utenti. Per questo motivo, a livello MAC viene definito un metodo di accesso multiplo in grado di evitare conflitti tra utenti e regolare la corretta trasmissione dei messaggi.

I protocolli di accesso multiplo utilizzati nelle reti locali possono essere divisi in due classi:

- *accesso multiplo casuale;*
- *accesso multiplo deterministico.*

Nelle reti LAN i protocolli più noti sono il CSMA/CD (di tipo casuale) e il token passing (di tipo deterministico).

Il livello MAC, come il formato del frame, è specifico per ogni tipo di LAN e quindi sarà descritto per ogni tipo di LAN nei prossimi capitoli. Tuttavia, alcuni campi essenziali per il funzionamento sono presenti in tutti i formati indipendentemente dal tipo di LAN. Questi campi essenziali, mostrati nella Figura 5.3, sono:

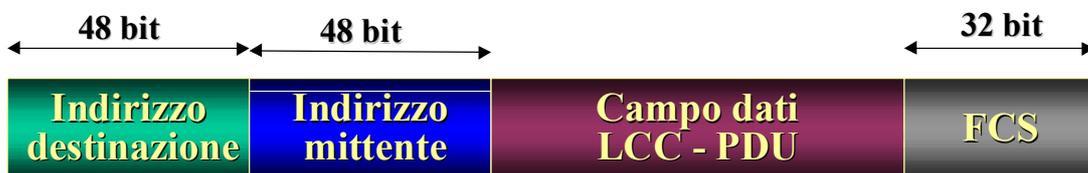


Figura 5.3. Formato dell'unità informativa a livello MAC (PDU-MAC).

- gli indirizzi della stazione di destinazione e del mittente. Questi indirizzi sono detti **indirizzi a livello MAC**;
- il campo dati ha una lunghezza diversa a seconda del tipo di rete utilizzato;
- il campo FCS (Frame Control Sequence) contiene i bit di ridondanza di un codice per rivelare la presenza di errori nel frame.

Indirizzi a livello MAC

L'uso degli indirizzi a livello MAC è stato standardizzato dal comitato IEEE 802. Questo comunicato consente di scegliere tra i seguenti valori di lunghezza:

- 16 bit
- 48 bit

Per le LAN IEEE 802.6 è possibile anche il valore di 60 bit.

La scelta di 16 bit presenta il vantaggio di ridurre la lunghezza dell'header del frame e quindi aumenta l'efficienza della LAN. Inoltre il numero di indirizzi è sufficiente per ogni singola LAN. Tuttavia, esso richiede la presenza di un gestore degli indirizzi di ciascuna LAN che assegna l'indirizzo alle singole apparecchiature al momento in cui sono connesse in rete. Inoltre lo spostamento di un'apparecchiatura da una rete all'altra implica che deve essere aggiornato l'indirizzo da parte del gestore.

Per evitare questi problemi oggi si utilizzano indirizzi MAC a 48 bit. Infatti in questo caso si possono fornire indirizzi validi globalmente per ogni dispositivo. Tale indirizzo è fornito direttamente dal costruttore ed è quindi indipendente dalla rete su cui viene inserito il dispositivo. In questo momento è possibile realizzare tecniche di *plug e play*, per cui il dispositivo può essere inserito in rete senza l'intervento di nessun operatore,

L'uso di **indirizzi universali** richiede la presenza di un'autorità che distribuisca gli indirizzi. Quest'autorità, inizialmente Xerox, è oggi rappresentata da IEEE. Il costruttore richiede un blocco di indirizzi composto 2^{24} indirizzi, ciascuno composto da 6 byte (Figura 5.4) con la seguente struttura:

- i primi 3 byte identificano il costruttore;
- i rimanenti 3 byte (2^{24} indirizzi) sono a disposizione del costruttore per identificare i singoli dispositivi.

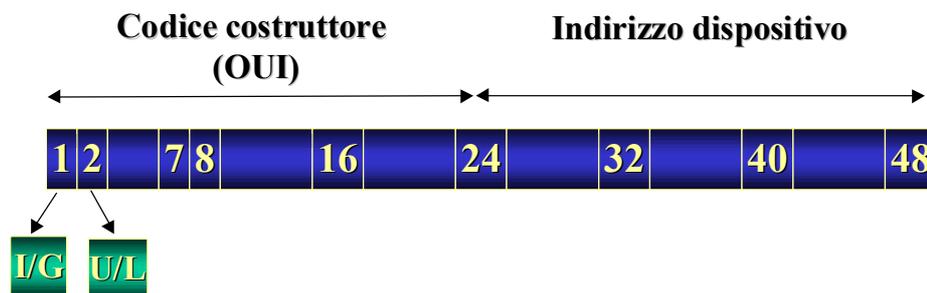


Figura 5.4. Struttura indirizzo MAC a 48 bit.

Nel primo byte dell'indirizzo MAC sono presenti bit che forniscono varie informazioni sul tipo di indirizzo:

- il primo bit o **I/G (Individual/Group)** serve a distinguere tra indirizzi individuali o di gruppo. Se il bit è 0 l'indirizzo si riferisce ad un singolo dispositivo, mentre se il bit è 1 l'indirizzo è relativo ad un gruppo logico di dispositivi. In questo modo il costruttore ha a disposizione 2^{24} indirizzi individuali e 2^{24} indirizzi di gruppo.
- Il secondo bit, **U/L (Universal/Local)** indica se l'indirizzo è globale (assegnato da IEEE) o deciso localmente.

A seconda del tipo di applicazione, l'indirizzo MAC di destinazione mostrato nella Figura 5.3 può essere di tre tipi:

- *singolo*, se è indirizzato ad un singolo dispositivo;
- *multicast*, se è indirizzato ad un gruppo di dispositivi;

- *broadcast*, se è indirizzato a tutti i dispositivi. L'indirizzo broadcast è FF-FF-FF-FF-FF-FF.

Quando il livello MAC di un dispositivo riceve un frame effettua una serie di controlli prima di passarlo a livello superiore. In particolare:

- controllo della lunghezza del frame per verificare se è ammissibile per la rete LAN su cui è stato trasmesso;
- controllo della presenza di errori mediante il campo FCS.

Nel caso in cui uno di questi controlli non risulti soddisfatto si procede alla ritrasmissione. In caso di esito positivo, il dispositivo analizza l'indirizzo MAC di destinazione ed effettua le seguenti operazioni:

- se l'indirizzo MAC è relativo ad un singolo dispositivo, e questo è uguale a quello memorizzato nella scheda del dispositivo (ROM) viene inviato il campo informativo del frame (LCC-PDU) al livello LLC. In caso opposto il frame non è analizzato;
- se l'indirizzo MAC è di tipo broadcast, LLC-PDU è passato al livello superiore;
- se l'indirizzo MAC è di tipo multicast, LLC-PDU è inviato a livello LLC solo se l'indirizzo è nel gruppo di multicast.

Livello LLC

Il livello LLC, definito dallo standard IEEE 802.2, è unico per tutte le reti LAN. Poiché questo livello deve fornire un'interfaccia unica per le LAN verso il livello di rete e deve essere simile a quello delle reti geografiche, il livello LLC utilizza una variante del protocollo HDLC standardizzato nel modello OSI per le reti geografiche. Il frame LLC ha il formato mostrato nella Figura 5.5.

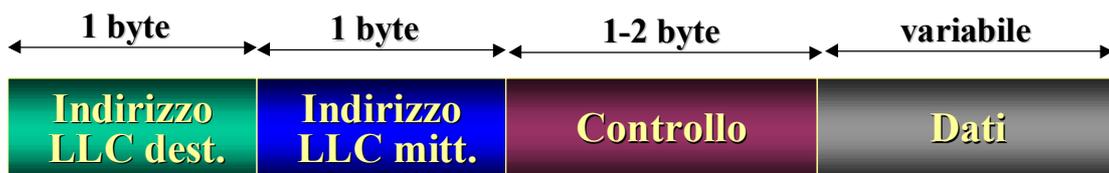


Figura 5.5. Formato della trama LLC.

Gli **indirizzi LLC** servono per individuare i protocolli del livello di rete su cui si appoggiano la rete locale che ha inviato il pacchetto (indirizzo LLC del mittente) e la rete locale a cui è diretto il pacchetto (indirizzo LLC del destinatario). Sono composti da 8 bit, di cui:

- bit **I/G (Individual/Group)** indica se l'indirizzo è rivolto ad ogni singolo utente o ad un gruppo di utenti;
- bit **U/L (Universal/Local)** indica se l'indirizzo è assegnato da IEEE e su base locale.

I rimanenti 6 bit consentono di individuare il protocollo di rete utilizzato scelti tra quelli standardizzati a livello internazionale.

Il livello LLC prevede tre modalità, o varianti, di servizio, e precisamente:

- **servizio senza connessione e senza conferma;**
- **servizio basato su una connessione logica;**
- **servizio senza connessione con conferma.**

Le differenti modalità sono anche chiamate LLC1, LLC2, e LLC3.

Il primo tipo di servizio invia le trame con una modalità di tipo datagram e non prevede alcuna forma di conferma sulla correttezza dei dati ricevuti. In questo caso devono essere i livelli superiori ad effettuare i controlli e garantire il corretto recupero dell'informazione.

Nel secondo tipo di servizio, che ha una stretta analogia con le modalità basate su circuito virtuale nelle reti a commutazione di pacchetto, è necessario che inizialmente venga stabilita una connessione tra i punti di accesso al servizio dell'utente chiamante o chiamato. Il livello LLC controlla poi che su questa connessione logica lo scambio dei dati avvenga in modo corretto e nella giusta sequenza di trame.

L'ultimo tipo di servizio, oltre a richiedere come il primo, la preventiva connessione logica, fornisce un servizio di acquisizione delle trame trasmesse a livello di singola trama e richiede quindi che ogni trama trasmessa sia confermata (correttamente ricevuta) prima di procedere all'invio della trama successiva.

5.3 Mezzi trasmissivi

Il mezzo di trasmissione costituisce il collegamento fisico tra gli elaboratori e le apparecchiature di rete. Per assicurare le prestazioni migliori il mezzo deve essere poco dispersivo e poco dissipativo, deve avere, quindi, bassi valori di resistenza, capacità ed induttanza e deve essere il più possibile indeformabile quando sottoposto a trazione durante la posa per evitare il deterioramento delle sue qualità trasmissive. I valori di resistenza, capacità ed induttanza presenti sul cavo sono sintetizzati in un unico parametro detto impedenza. Sia il trasmettitore che il ricevitore devono adattarsi a questo valore per ottimizzare la trasmissione dati, cioè per aumentare il più possibile la potenza ricevuta. Inoltre l'impedenza deve essere invariante rispetto alla frequenza di utilizzo, o avere un range di oscillazione molto limitato.

I mezzi più comunemente usati sono: la coppia intrecciata o doppino in rame, attualmente il più diffuso; il cavo coassiale, quasi completamente abbandonato; le fibre ottiche. Nelle reti di ultimissima generazione, laddove non sia possibile effettuare il cablaggio, vengono realizzate delle connessioni wireless, che utilizzano le onde radio o i raggi infrarossi per il trasferimento di informazioni punto-punto.

La scelta del mezzo di trasmissione, volta ad ottimizzare le prestazioni della rete LAN che si vuole realizzare, deve essere effettuata confrontando il costo e la facilità di installazione; la banda di trasmissione del cavo, che può consentire una o più sessioni contemporaneamente; la massima velocità di trasmissione permessa; l'estensione della rete.

Doppino telefonico (Cavo twisted pair)

La coppia intrecciata, solitamente detta doppino telefonico, è il mezzo trasmissivo più utilizzato per il cablaggio delle reti LAN. Come indicato dal nome, consiste di coppie di conduttori di rame, ciascuna delle quali è detta doppino, intrecciate l'una attorno all'altra per renderle particolarmente immuni ai disturbi elettromagnetici in quanto le correnti che attraversano i due conduttori sono di uguale intensità e verso opposto e quindi generano campi magnetici opposti che tendono ad annullarsi; si limita così il trasferimento di segnale tra coppie adiacenti (cross-talk).

Il doppino, nato per la telefonia in banda base (spettro del segnale di 3 KHz), è stato oggetto di un'evoluzione tecnica che lo ha portato ad essere un mezzo di trasmissione in grado di sopportare segnali a frequenze dell'ordine di centinaia di MHz, rendendolo adatto alla realizzazione di collegamenti con velocità di trasmissione che va da 10 Mbps fino a 100 Mbps.

Esistono diversi tipi di doppino telefonico:

- *UTP (Unshielded Twisted Pair)*: doppino non schermato (il più diffuso, soprattutto per collegare le prese utente, è il cavo a 4 coppie da 24 AWG di diametro per conduttore ed impedenza pari a 100 Ω);
- *Screeneed FTP (Foiled Twisted Pair)*: doppino con unico schermo per tutto il cavo;
- *STP (Shielded Twisted Pair)*: doppino con uno schermo per ogni coppia più uno schermo globale (la rete Token Ring di IBM usa un STP composto da due coppie singolarmente schermate da 150 Ω).

La coppia intrecciata non schermata (UTP) è la coppia di fili telefonici standard. Ciascun filo è isolato ed avvolto attorno ad un altro filo in modo da formare una coppia. I collegamenti standard per ufficio prevedono solitamente da 2 a 4 coppie per cavo portante. Ciascuno di essi è ricoperto da uno schermo non metallico (solitamente plastica o PVC).

La scelta del tipo di mezzo da utilizzare è molto complessa, in quanto è necessario tenere conto di numerosi parametri elettrici a tutte le frequenze di funzionamento interessate dalle varie applicazioni.

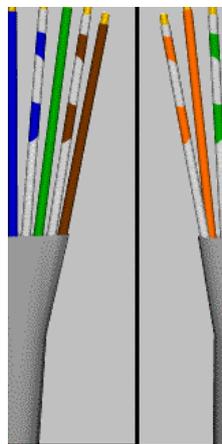


Figura 5.6. Esempio di doppino telefonico UTP a quattro coppie.

Per far fronte a questa esigenza l'Electronic Industries Association e la Telecommunications Industries Association (EIA/TIA) hanno definito le seguenti categorie standard per i doppini non schermati (UTP):

- Categoria 3 (High Speed Data): prima categoria di cavi adatta a realizzare reti locali fino a 10 Mbps, tale categoria è certificata fino a 16 MHz; sono cavi indicati per soddisfare gli standard 10base-T e Token-Ring fino a 4 Mbps;
- Categoria 4 (Low Loss, High Performance Data): cavi per LAN Token-Ring o 10base-T/100base-T fino a 16 Mbps; tale categoria garantisce ottime prestazioni per frequenze che raggiungono i 20 MHz;
- Categoria 5 (Low Loss, Extended Frequency, High Performance Data): comprende i migliori cavi disponibili, che supportano rate di trasmissione fino a 100 Mbps, con frequenze di funzionamento che arrivano a 100 MHz; questi cavi sono utilizzati largamente nella realizzazione di reti Ethernet.

Per ottenere maggiore ampiezza di banda, negli ultimi anni, è stata sviluppata la Categoria 6, in grado di operare alla frequenza di 200 MHz, ma per la quale non esistono ancora norme definitive, sebbene i cavi UTP di Cat.6 vengono comunque utilizzati.

I principali vantaggi dei cavi UTP sono: il basso costo, la possibilità di scegliere tra numerosi fornitori, la facilità di installazione e di testing, la rapidità di messa in opera e di sostituzione, la disponibilità delle interfacce hardware più diverse. I cavi UTP, inoltre, costituiscono lo standard per la telefonia, perciò, in molti edifici ad uso commerciale progettati o ristrutturati negli ultimi anni, si può sfruttare tale cablaggio per la realizzazione di reti LAN.

I limiti degli UTP sono dovuti alla bassa qualità dei cavi sia per quanto riguarda il metallo conduttore, sia per il dielettrico che costituisce il rivestimento protettivo. Essi, inoltre, sono sensibili alle interferenze elettriche o al rumore prodotti da altre sorgenti elettriche, come altri fili, cabine e macchine elettriche. Gli accoppiamenti, in cui i segnali di una coppia interferiscono con quelli di un'altra sono un tipico esempio. Le interferenze elettriche non sono un grosso problema in un ufficio, ma possono esserlo in una industria che utilizza macchine elettriche. I disturbi elettromagnetici costringono a ridurre la lunghezza dei cavi.

Il doppino intrecciato viene utilizzato per trasmissioni in banda base, utilizzando un solo canale, con velocità di trasmissione di 10 Mbps su distanze non superiori a 100 metri. In molte reti LAN ad alta velocità si utilizzano degli hub, e gli standard previsti dall'EIA/TIA consentono una distanza massima di 90 metri tra la porta dell'hub e la presa a muro, ed ulteriori 10 metri da quest'ultima al dispositivo di rete.

Il doppino schermato (STP), diversamente dal UTP, presenta un rivestimento costituito da uno schermo a lamina metallica che lo protegge dai disturbi; non è così largamente impiegato come il cavo non schermato in quanto più costoso.

I cavi sono caratterizzati da parametri elettrici che ne descrivono il comportamento al variare della frequenza di funzionamento. Il primo parametro è l'impedenza definita come: $Z=R+jl$, che racchiude valori di resistenza, capacità ed induttanza del cavo. L'impedenza caratteristica viene definita come impedenza di ingresso di una linea di trasmissione di lunghezza infinita. Il valore varia con la frequenza, per i cavi di buona qualità l'impedenza deve restare stabile in un range di frequenze piuttosto ampio. Il cavo deve essere adattato

in impedenza con il ricevitore ed il trasmettitore per evitare riflessioni del segnale che comporta la riduzione del rapporto segnale rumore. Le irregolarità nella geometria del cavo producono variazioni nell'impedenza caratteristica, così come, trazioni eccessive e piegature che possono verificarsi in fase di posa. Tali variazioni determinano riflessioni del segnale, riducendone l'energia. Le perdite per riflessione sono misurate in decibel (dB) dal parametro return loss.

Altro parametro è la velocità di propagazione del segnale elettrico nel mezzo, espresso come percentuale rispetto alla velocità c di propagazione della luce nel vuoto ($c=3*10^8$ m/s). Tale valore è importante, ad esempio, nel calcolo di parametri di funzionamento del protocollo CSMA/CD usato dalla rete Ethernet; viene utilizzato per calcolare la distanza tra i due estremi di un cavo.

L'attenuazione misura l'indebolimento del segnale in dB, è il rapporto tra le tensioni: V_1 in ingresso al cavo, e V_2 che si misura all'uscita:

$$attenuazione(dB) = 20 \log \frac{V_1}{V_2}.$$

Il suo valore cresce con la lunghezza del cavo e con la radice quadrata della frequenza; è uno dei motivi per cui vengono fissate delle lunghezze limite per i cavi. Per esempio il valore massimo di attenuazione alla frequenza di lavoro di 100 MHz è di 22.04 dB per 100 m di cavo.

La vicinanza delle varie coppie determina il passaggio, per induzione elettromagnetica, dei segnali da un doppino ad uno contiguo, questo fenomeno è noto come cross-talk (diafonia), e viene espresso in dB attraverso due parametri: NEXT (Near End Cross-Talk), e FEXT (Far End Cross-Talk). Il NEXT o paradiafonia misura il segnale indotto da un cavo in un cavo vicino, utilizzando un solo strumento di misura costituito da un generatore di segnale, posto su un cavo, ed un misuratore di tensione posto sull'altro cavo, collegato ad una sola estremità del cavo, in prossimità del trasmettitore. Il minimo valore ammesso per il NEXT a 100 MHz è 32 dB per 10 m di cavo. Il FEXT o telediafonia, invece, misura il segnale indotto nel cavo adiacente a quello che trasporta il segnale, con il misuratore di tensione posizionato all'estremo opposto del cavo rispetto al generatore di segnale. Questo tipo di misurazione è di fondamentale importanza per la certificazione del cablaggio effettuato.

I nuovi standard di trasmissione (come il Gigabit Ethernet) utilizzano tutte e quattro le coppie di un cavo UTP/FTP sulle quali il segnale passa in entrambe le direzioni. Ciò aumenta le diafonie in gioco, che si sommano su ogni coppia. Con l'avvento delle nuove categorie le più importanti diafonie sono oggi le cosiddette ELFEXT e PSELFEXT. Il primo parametro, Equal Level FEXT, è la misura della tensione indotta dal segnale di un doppino in rapporto alla tensione d'uscita di un altro e questo per ogni possibile coppia, in altre parole è l'ACR (Attenuation to Cross-Talk Ratio) ottenuto sottraendo l'attenuazione dal FEXT. Per limitare gli effetti dovuti alla diafonia, i doppini subiscono una torsione con passo variabile da una coppia all'altra.

Se si considera l'effetto complessivo, ossia prodotto da tutti e tre i doppini su un quarto, otteniamo la PSELFEXT (Power Sum ELFEXT): in questo caso occorre misurare il rapporto $(DIAF1 + DIAF3 + DIAF4)/OUT2$. Come si nota, il valore di riferimento è sempre il segnale d'uscita sul cavo n.2. Entrambe le misure sono previste dai nuovi standard delle

nuove categorie, e devono essere controllate anche sui doppini di cat. 5 esistenti, prima di utilizzarli per standard come il Gigabit Ethernet.

Per valutare correttamente la qualità del segnale trasportato da un cavo, viene utilizzato un parametro che è la combinazione dei due appena esaminati. Tale parametro è l'ACR (Attenuation to Cross-Talk Ratio), anch'esso in dB, pertanto è espresso come:

$$\text{ACR(dB)} = \text{NEXT(dB)} - \text{Attenuazione(dB)}.$$

L'ACR di un cavo rappresenta il rapporto tra il segnale attenuato e quello indotto dalla coppia adiacente. Esso dipende dalla frequenza di lavoro e dalla lunghezza del cavo; al crescere della lunghezza del cavo aumenta l'attenuazione del segnale trasmesso, che diventa troppo debole rispetto a quello indotto per diafonia, determinando errori di trasmissione.

I parametri elettici visti consentono di valutare la bontà del cablaggio, e la sua rispondenza alle specifiche. I valori di riferimento sono ottenuti effettuando delle misure sul link, cioè sul percorso che dall'armadio di piano giunge fino alla presa utente, e sul channel o canale, che risponde maggiormente alle condizioni di lavoro reale, in quanto sono compresi anche i patch cord (cavetti di connessione di utente e di apparato), il permutatore di armadio e gli accoppiamenti presa-connettore.

Nella tabella 5.3 vengono riportati i valori massimi di attenuazione, la minima diafonia, l'ACR e le perdite per riflessione massime, utilizzando cavi di categoria 5, 5e (enhanced), valutati a 100 MHz, e per la nuova categoria 6 a 100 MHz ed a 200 MHz.

SPECIFICHE DI CANALE A 100MHz				200MHz
	Cat.5	Cat.5e	Cat.6	Cat.6
Attenuazione	24dB	24dB	24dB	29.2dB
NEXT	27.1dB	30.1dB	39.9dB	39.8dB
PSNEXT	24.1dB	27.1dB	37.1dB	37.8dB
ELFEXT	17dB	17.4dB	23.2dB	21.7dB
PSELFEXT	14.4dB	14.4dB	20.2dB	18.7dB
ACR	3.1dB		18.2dB	
PSARC	0.1dB		15.4dB	
RETURN LOSS	10dB	10dB	12dB	

Tabella 5.3. Specifiche dei parametri per i doppini telefonici.

Cavo coassiale

Il cavo coassiale consiste di un conduttore centrale di rame ricoperto da un isolante, a sua volta circondato da una guaina di filo metallico o schermo. Il tutto è coperto da un rivestimento esterno, detto jacket, di plastica o gomma.

La schermatura che avvolge il conduttore interno rende il cavo coassiale meno sensibile al rumore o alle interferenze elettriche che provengono da altri cavi o sorgenti elettriche come i motori elettrici; l'attenuazione lungo il cavo, inoltre, è più bassa rispetto al cavo

intrecciato. In termini pratici ciò significa che il cavo coassiale permette velocità di trasmissione relativamente alte su distanze relativamente lunghe.

Esistono vari tipi di cavo coassiale, diversi a seconda del numero di conduttori interni, del materiale isolante utilizzato e del tipo di jacket. Il tipo maggiormente utilizzato nelle reti locali ha un'impedenza di 50Ω , ed è utilizzato per trasmettere il segnale in banda base in un range di frequenze compreso tra 50 e 100 MHz.

Il cavo coassiale è stato il mezzo di trasmissione originariamente utilizzato nelle LAN Ethernet, lo standard 10Base5 prevede l'uso del cavo thick (RG213) con impedenza di 50Ω , ed una attenuazione minima, su un segmento di 500 m, di 8.5 dB a 10 MHz. Tale tipo di cavo, oggi, è previsto dallo standard EIA/TIA-568 per il cablaggio delle dorsali. Per il cablaggio orizzontale, laddove ancora in uso, si preferisce il thin Ethernet (RG58), con le stesse caratteristiche del cavo thick, tranne che per la lunghezza massima del segmento che deve essere di 185 m.

Anche se maggiormente immune ai disturbi, il cavo coassiale è stato soppiantato dal doppino nelle reti di medie prestazioni e dalle fibre ottiche in quelle ad alte prestazioni, a causa del maggior costo e delle maggiori difficoltà di messa in opera. Il cavo coassiale ha come ulteriore limite quello di non essere adatto per realizzare alcune configurazioni di rete, come quella a stella o ad anello.

Fibre ottiche

Le fibre ottiche sono uno dei mezzi di trasmissione più recenti, e stanno rivoluzionando il mondo delle telecomunicazioni.

La fibra si può considerare come una guida d'onda circolare costituita di un sottilissimo cilindro centrale (core), circondato da uno strato esterno (cladding) avente un diverso indice di rifrazione, realizzati entrambi con materiale dielettrico, generalmente ossido di silicio, il tutto ricoperto da una guaina protettiva. I cavi sono composti da più fibre raggruppate insieme in un'unica guaina contenitrice esterna.

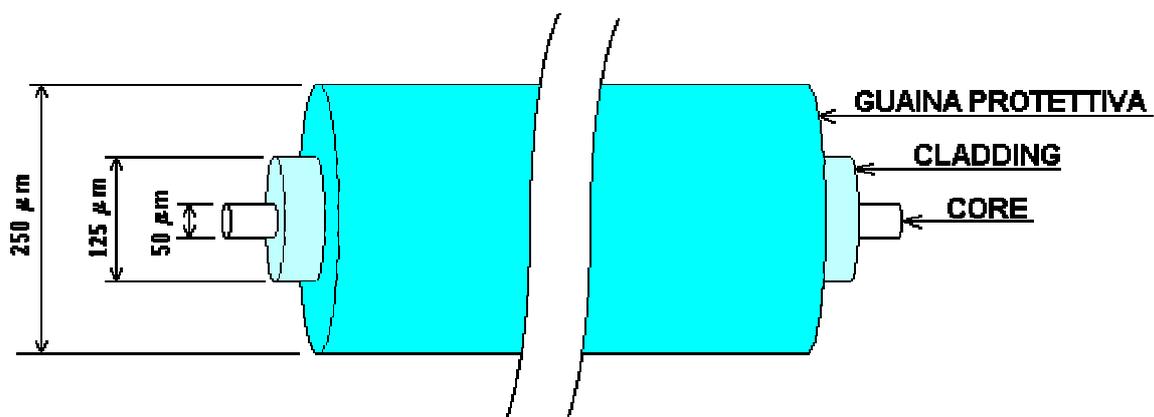


Figura 5.7. Cavo a fibre ottiche.

Le fibre trasportano i segnali attraverso il fenomeno della propagazione della radiazione luminosa, basato sulla variazione dell'indice di rifrazione all'interno del materiale

dielettrico. L'indice di rifrazione n è definito come il rapporto tra la velocità di propagazione del raggio luminoso nel vuoto ($c=3 \cdot 10^8$ m/s) e la velocità di propagazione in un mezzo diverso dal vuoto ($n=c/v$), dove v dipende, naturalmente, dalle caratteristiche e proprietà fisiche del mezzo stesso. Se il mezzo è isotropo e omogeneo allora n risulta un numero maggiore di uno e costante all'interno del dielettrico.

Quando un raggio luminoso incide su una superficie d'interfaccia tra due mezzi di indici diversi, $n_1 > n_2$, esso viene in parte riflesso e in parte rifratto o trasmesso, secondo la legge di Snell:

$$n_1 \sin(\alpha_1) = n_2 \sin(\alpha_2)$$

dove α_1 è l'angolo di incidenza del raggio rispetto la normale alla superficie nel punto di incidenza e α_2 è l'angolo che il raggio rifratto forma con la stessa normale nel secondo mezzo, come si vede nella Figura 5.8.

Poiché $n_1 > n_2$, ciò implica che α_2 aumenta all'aumentare di α_1 , fino ad arrivare alla condizione limite per cui $\alpha_2 = \pi/2$, in cui si ha il fenomeno di riflessione totale. In questa situazione si definisce l'angolo critico

$$\alpha_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right),$$

l'angolo di incidenza oltre il quale si ha assenza di rifrazione. I raggi giacenti su di un piano comprendente l'asse della fibra ottica, che incidono l'interfaccia vetro/aria con angolo maggiore di α_c , vengono riflessi totalmente e, quindi, restano confinati all'interno della fibra indefinitamente. Il principio appena descritto è alla base del funzionamento di tutti i tipi di fibra ma nel campo delle telecomunicazioni è preferibile poter variare con precisione il valore dell'indice di rifrazione sia della fibra vera e propria (mezzo 1), sia del mezzo che la ricopre (mezzo 2). Entrambi i mezzi sono costituiti da materiale vetroso, gli indici di rifrazione vengono variati con precisione durante la costruzione, mediante l'aggiunta di droganti esterni, quali ossidi di germanio, piombo o alluminio. Il core ha indice di rifrazione n_1 maggiore di quello del cladding n_2 . In una fibra per telecomunicazioni il diametro esterno è tipicamente di $125 \mu\text{m}$, mentre il diametro del nucleo varia tra pochi μm e $50 \mu\text{m}$ a seconda del tipo di fibra. La fibra così prodotta risulterebbe meccanicamente fragile; è allora necessario irrobustirla mediante ulteriori rivestimenti plastici.

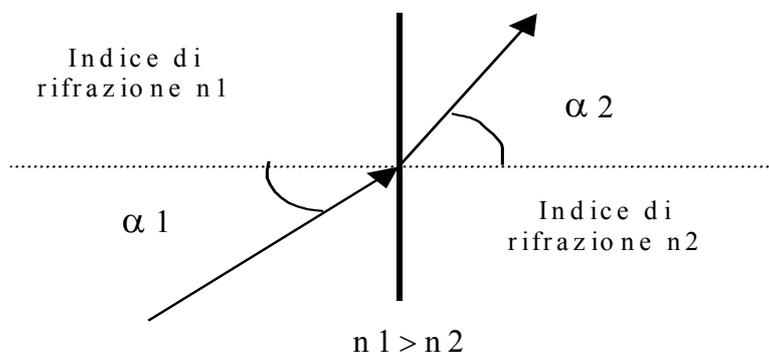


Figura 5.8. Legge di Snell.

Indipendentemente dal tipo, ogni fibra è caratterizzata da alcune grandezze che ne definiscono le proprietà fondamentali. Come si è visto, se un raggio luminoso viene inviato nella fibra con un angolo di incidenza tra core e cladding inferiore all'angolo critico, questo non viene accettato dalla fibra, attenuandosi dopo poche riflessioni. Per questo viene definito un cono d'accettazione, che contiene tutti i raggi che possono propagarsi nella fibra. Il vertice del cono è il centro della faccia d'ingresso della fibra, e l'angolo al vertice viene detto angolo d'accettazione α_a ; spesso però al posto di α_a viene fornito NA (apertura numerica), dove $NA = \sin \alpha_a$: maggiore è NA più è semplice accoppiare la fibra alla sorgente luminosa. L'angolo di accettazione può essere messo in relazione con i due indici di rifrazione n_1 e n_2 (rispettivamente del nucleo e del mantello) mediante la relazione:

$$\alpha_a = \arcsin[(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}].$$

Il tipo di fibra più semplice è la fibra multimodale step-index, cioè con una discontinuità a gradino fra gli indici di rifrazione del core e del cladding. Essa è caratterizzata dal diametro del core molto maggiore della lunghezza d'onda utilizzata generalmente nei sistemi di telecomunicazione (1.55 μm). All'interno di tale tipo di fibra l'energia luminosa si propaga per riflessioni successive dando luogo a più modi, ciascuno dei quali segue percorsi di lunghezza diversi, quindi con differenti tempi di propagazione.

La velocità di trasmissione delle fibre multimodali è limitata dalla dispersione modale: un impulso luminoso immesso in fibra, si scompone in vari raggi ognuno dei quali segue un percorso diverso, giungendo a destinazione in tempi leggermente diversi, leggermente deformato a breve distanza, e scomposto in vari impulsi più piccoli a grande distanza. Quando il ritardo tra due raggi diventa paragonabile con la durata dell'impulso inviato in fibra, la dispersione modale determina il fenomeno dell'interferenza intersimbolica, causa della degradazione delle prestazioni del sistema di trasmissione.

Per contrastare il fenomeno della dispersione intermodale sono state fabbricate delle fibre in cui i raggi vengono guidati, mediante la variazione dell'indice di rifrazione del nucleo tra un valore massimo ed uno minimo via via che ci si allontana dall'asse della fibra. Questo tipo di fibre sono indicate come graded-index, in esse i raggi vengono incurvati dalla variazione graduale di n . Una delle leggi più comuni di variazione di n , al variare della distanza radiale dall'asse, è detta a "profilo a", dove a è un parametro fissato in fase di fabbricazione.

Un'altra soluzione per evitare la dispersione modale è offerta dalle fibre monomodali, estremamente sottili, il core ha un diametro di 8-10 μm , in cui i raggi seguono percorsi rettilinei, e permettono di coprire distanze superiori alle fibre multimodali, fino a 30 Km. Queste fibre, però, presentano il problema della dispersione cromatica, dovuta ad una proprietà fisica dei vetri silicei di cui la fibra è costituita. Il vetro è un materiale dispersivo, pertanto le componenti a frequenze diverse di cui il segnale modulato è composto si propagano con velocità di gruppo diverse, e, al ricevitore, si ricombinano con ritardi diversi, dando luogo ad una distorsione lineare di fase.

Le prime fibre fabbricate erano caratterizzate da un coefficiente di attenuazione intorno ai 1000 dB/km e, quindi, non ne consentivano l'uso pratico. Attualmente per le fibre convenzionali in materiale vetroso si arriva ad $\alpha = 0.15$ dB/km con lunghezza d'onda $\lambda = 1.55$ μm per una fibra monomodale. Il coefficiente di attenuazione dipende dalla lunghezza

d'onda, e diminuisce all'aumentare della lunghezza d'onda, consentendo trasmissioni su distanze sempre maggiori.

Le fibre ottiche hanno ottime prestazioni: con le tecnologie attuali si raggiunge una velocità di trasmissione di circa 50 Gbit/s con un bassissimo tasso d'errore. La pratica attuale di usare velocità dell'ordine dei Gbit/s dipende dall'incapacità di convertire più velocemente segnali elettrici in luminosi. Esse offrono, inoltre, una bassissima attenuazione del segnale luminoso.

Rispetto agli altri mezzi di trasmissione le fibre consentono numerosi vantaggi: maggiore larghezza di banda, maggiore velocità di trasmissione, realizzazione di collegamenti più lunghi, bassissima attenuazione ed elevata immunità ai disturbi elettromagnetici. La realizzazione del cablaggio in fibra, inoltre, comporta minore ingombro, sia di spazio che di peso, dato che due fibre sono più capaci, in termini di banda, di mille doppini. D'altro canto le fibre sono più costose, anche perché richiedono, poi, apparati di rete e dispositivi dedicati; la messa in opera richiede personale specializzato ed attrezzature sofisticate, specie per la realizzazione delle giunzioni. Gli interventi successivi, sia di manutenzione, sia eventuali ampliamenti della rete richiedono interventi costosi e non semplici. Il cavo a fibre ottiche consente una comunicazione unidirezionale, pertanto la realizzazione delle connessioni tra trasmettitori e ricevitori di una rete richiede due fibre.

A causa del costo elevato, quindi, le fibre ottiche, oggi, nella realizzazione del cablaggio delle reti LAN vengono impiegate per collegare edifici distanti, o per le dorsali di edificio.

5.4 La rete Ethernet

Ethernet rappresenta oggi la rete più nota e più diffusa in tutto il mondo. La nascita di Ethernet risale al 1976 quando Xerox utilizzò il protocollo CSMA/CD per realizzare una rete locale con una velocità di 2.94 Mbit/s per collegare oltre 100 stazioni. Ethernet incontrò subito un notevole successo per la sua semplicità realizzativa e le elevate prestazioni; per questo motivo Digital, Intel e Xerox formarono un consorzio DIX per elaborare le specifiche della rete Ethernet a 10 Mbit/s. Negli stessi anni il comitato IEEE 802 iniziò a sviluppare uno standard di rete locale basato su CSMA/CD e simile alla rete Ethernet, noto come IEEE 802.3.

Ethernet e IEEE 802.3 sono molto simili, anche se esistono differenze significative. Oggi si realizzano soltanto reti IEEE 802.3, ma in molti casi si continua ad utilizzare la denominazione di rete Ethernet. In questo capitolo i due termini saranno usati indifferentemente per indicare IEEE 802.3.

Le reti Ethernet e IEEE 802.3 si basano su una struttura a bus con una velocità di 10 Mbit/s. Lo standard IEEE 802.3 specifica il livello fisico e il livello MAC.

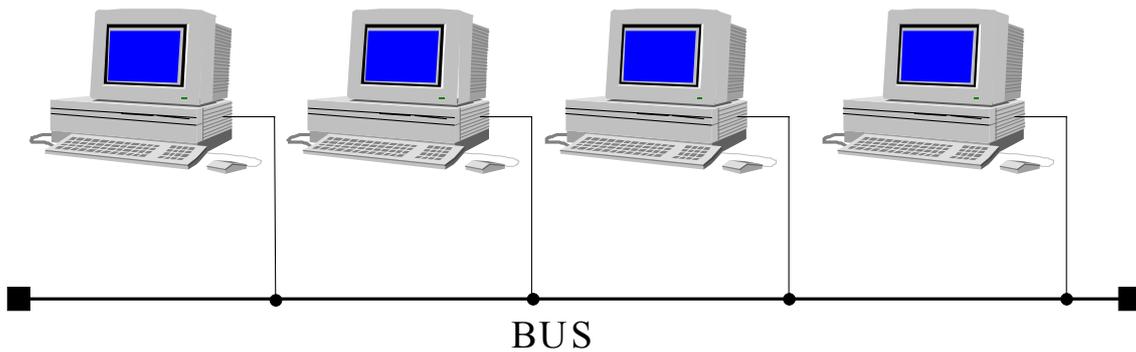


Figura 5.9. Struttura della rete Ethernet.

La topologia di una rete Ethernet o IEEE 802.3 è costruita, da un punto di vista concettuale, attorno ad un bus condiviso, come mostrato nella Figura 5.9. Il bus può essere costituito da vari tipi di cavo coassiale, quale cavo doppino telefonico e fibra ottica.

Il metodo di accesso multiplo CSMA/CD utilizza una struttura completamente distribuita, per cui non è necessaria la presenza di una stazione master.

Questa caratteristica, insieme alla semplicità del protocollo CSMA/CD, sono i motivi della grande diffusione di Ethernet.

Caratteristiche del livello MAC in 802.3

Il livello MAC in 802.3 definisce le caratteristiche del sistema di accesso multiplo CSMA/CD e la struttura dei dati. Nell'algoritmo CSMA/CD una stazione che deve inviare un pacchetto dati ascolta il canale o bus (carrier sense - CS): se il canale è libero, la stazione può iniziare a trasmettere. Nonostante il meccanismo di carrier sense, è possibile che due stazioni interferiscano tra loro (collisione). Questo inconveniente è determinato dal fatto che il tempo di propagazione del segnale nel bus non è nullo, per cui una stazione A non può sentire l'occupazione del canale da parte di un'altra stazione B fino a quando il segnale generato da B non arriva ad A.

Per rivelare il verificarsi di queste collisioni, una stazione in fase di trasmissione continua ad ascoltare i segnali sul bus, confrontandoli con quelli da lei generati. Nel caso in cui sia rivelata una collisione sono effettuate le seguenti azioni:

- la stazione trasmittente sospende la trasmissione e invia una sequenza di **jamming** composta da 32 bit per avvertire le altre stazioni della collisione;
- la stazione in ascolto, intercettando il jamming, scarta i bit ricevuti;
- la stazione trasmittente ripete il tentativo di trasmissione dopo un tempo generato in modo casuale utilizzando l'algoritmo di **back - off**. Il numero massimo di tentativi di ritrasmissione è 16.

Indichiamo con T il tempo di propagazione del segnale tra due qualsiasi stazioni presenti sulla rete A e B. Supponiamo che A inizi a trasmettere all'istante t. La stazione B non si accorgerà che il canale è occupato da un'altra stazione fino all'istante t+T e quindi può inviare un proprio messaggio prima di tale istante. All'istante t+T la stazione B rivela la

collisione, cessa di trasmettere il messaggio ed invia un pacchetto di jamming. La stazione A riceve il pacchetto di jamming all'istante $t+2T$ e soltanto a questo istante, cioè dopo un intervallo di $2T$, essa è in grado di rivelare la sovrapposizione del proprio messaggio con quello generato da un'altra stazione.

Se indichiamo con T il tempo massimo di propagazione del segnale tra due qualsiasi stazioni presenti sulla rete, $2T$ rappresenta il tempo massimo di trasmissione per una stazione prima di accorgersi di una collisione. La durata di un qualsiasi messaggio deve essere superiore a $2T$ in modo che la stazione che trasmette sia in grado di rivelare una sua eventuale sovrapposizione con altri messaggi. Questa condizione impone, come vedremo successivamente, una limitazione sulla minima lunghezza consentita per un messaggio.

Formato del frame IEEE 802.3

Il formato del frame nella rete IEEE 802.3 è mostrato nella Figura 5.10, in cui sono evidenziati i diversi campi che lo compongono:

- **Preambolo.** Questo campo ha una lunghezza di 7 byte, ognuno costituito dalla sequenza 10101010.
- **Delimitatore di inizio del frame.** Questo campo è formato dal byte 10101011 e serve ad indicare l'inizio del frame.

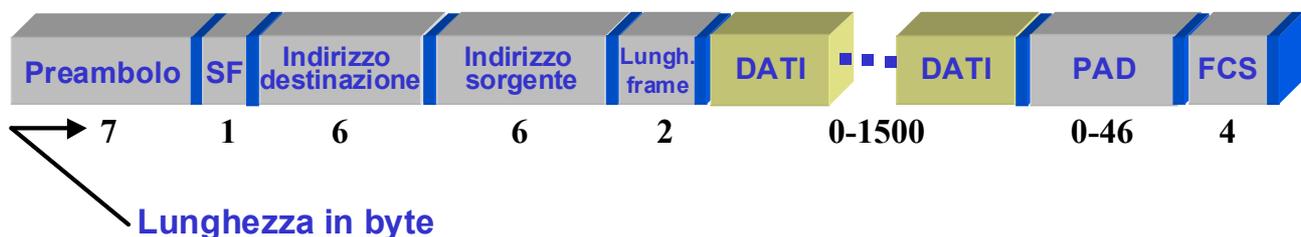


Figura 5.10. Formato del frame della rete IEEE 802.3.

- **Indirizzo della stazione di destinazione e sorgente.** Questo campo può avere una lunghezza di 2 o 6 byte; tuttavia, attualmente sono prevalentemente utilizzati indirizzi formati da 6 byte. Se il bit più significativo del campo indirizzo della stazione di destinazione è uguale a 0, il campo contiene un indirizzo MAC *ordinario*, mentre se tale bit è uguale a 1 allora si ha una trasmissione *multicast*. Al contrario, se l'indirizzo della stazione di destinazione è formato da bit uguali a 1, allora si ha una trasmissione *broadcasting*. Il bit 46 (accanto a quello più significativo) serve a distinguere indirizzi locali e globali (come indicato nel capitolo precedente).
- **Lunghezza del campo dati.** Questo campo indica la lunghezza in byte del campo dati contenuti nel pacchetto.
- **Campo Dati.** Questo campo ha una lunghezza variabile tra 0 e 1500 byte.
- **PDA.** Questo campo ha una lunghezza variabile tra 0 e 46 byte e viene introdotto per garantire che la lunghezza minima del pacchetto non sia inferiore a 64 byte. Come vedremo, questo valore minimo del pacchetto è necessario per un corretto funzionamento del protocollo CSMA/CD.

- **FCS.** Questo campo, formato da 2 byte, consente di effettuare il controllo degli errori sul pacchetto utilizzando un codice ciclico.

Requisiti imposti a livello MAC dal CSMA/CD

Per una corretta gestione delle collisioni, occorre rispettare nel caso della rete Ethernet 802.3 le seguenti regole fondamentali:

1. la trasmissione può essere iniziata soltanto quando il canale è sentito libero;
2. la collisione con un'altra stazione deve essere rivelata prima che il pacchetto sia stato completamente trasmesso;
3. la fine di un pacchetto è caratterizzato da un periodo di silenzio ITP (Inter Packet gap) uguale a 9.6 μ s.

Nella tabella 5.4 sono riportati i valori tipici per alcuni parametri della rete IEEE 802.3.

La seconda regola impone una condizione sulla lunghezza minima del messaggio, fissato il mezzo di propagazione (e quindi la velocità di propagazione) e la massima distanza della rete. Nella tabella 5.4 sono riportati i valori tipici per alcuni parametri della rete IEEE 802.3.

ITP	9.6 μ s
N. tentativi di ritrasmissione	16
N. tentativi prima di limitare il Back-off	10
Pacchetto di Jamming	32 byte
Lunghezza minima del pacchetto	64 byte
Massima lunghezza del pacchetto	1518 byte

Tabella 5.4. Alcuni parametri della rete IEEE 802.3.

Consideriamo ad esempio il pacchetto di lunghezza minima uguale a 512 bit. Il tempo necessario per la trasmissione di tale pacchetto è 51.2 μ s, che risulta uguale al round-trip delay $2T$. Si ottiene perciò $T \cong 25 \mu$ s e quindi con una velocità di trasmissione uguale a 2×10^9 m/s (2/3 della velocità della luce), si ha una distanza massima uguale a 5 Km. Nelle applicazioni pratiche il valore di distanza massima deve essere diminuita a causa delle attenuazioni. Nel caso si desideri realizzare una rete con velocità maggiore di 10 Mbit/sec, è necessario aumentare la lunghezza minima del frame oppure diminuire la lunghezza massima del cavo. Ad esempio, se si vuole progettare una rete che operi ad una velocità di un 1 Gbit/s, la lunghezza minima del frame è 6400 byte se si vuole mantenere una

distanza massima di 2.5 Km, mentre se la lunghezza minima del frame è portata 640 byte la distanza massima è di 250 m.

Livello fisico

Le principali funzioni svolte dal livello fisico sono:

- trasforma i bit da trasmettere in segnali elettrici codificati con il codice di Manchester;
- trasmette e riceve i bit.

Tutte le versioni di IEEE 802.3, definite per i diversi tipi di supporto fisico, utilizzano la codifica di Manchester. Ogni periodo di bit è diviso in due intervalli uguali e i segnali associati ai simboli 0 e 1 sono mostrati nella Figura 5.11. Questa codifica assicura che ogni periodo τ di bit è presente una transizione nel mezzo di τ e quindi facilita il sincronismo tra trasmettitore e ricevitore.

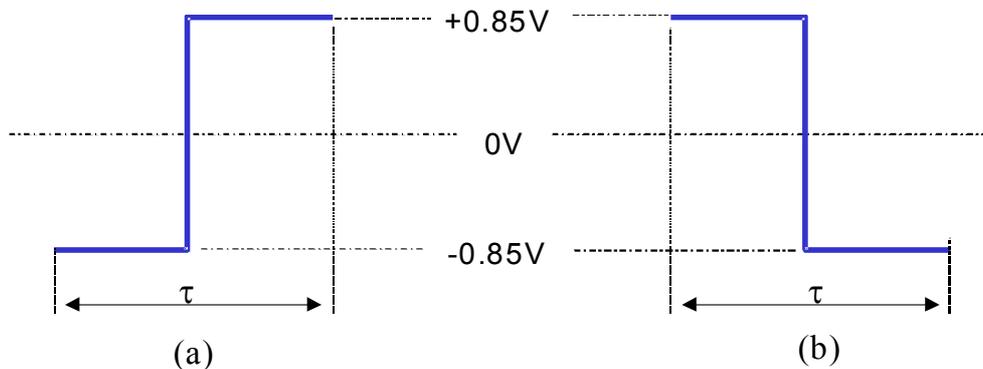


Figura 5.11. Codifica di Manchester : a) segnale associato a 0; b) segnale associato a 1.

Interfaccia o controller Ethernet

Questo dispositivo, realizzato su un'apposita scheda, viene generalmente inserito nell'interno della apparecchiatura da connettere in rete. Esso svolge le seguenti funzioni:

- codifica (o decodifica) i singoli bit in segnali utilizzando il codice di Manchester;
- sincronizza il trasmettitore e il ricevitore utilizzando le transizioni del segnale dal livello alto al livello basso o viceversa contenute nella codifica di Manchester;
- gestisce il collegamento.

Cavo transceiver o AUI (Attachment Unit Interface)

Questo cavo serve a collegare l'interfaccia Ethernet al transceiver e quindi alla rete Ethernet. La lunghezza massima del cavo è di 50 m. Il cavo è di tipo schermato con connettori a 15 poli.

Transceiver

Il transceiver o MAU (Medium Access Control Unit) è un dispositivo che si collega alla presa AUI di una scheda Ethernet e al cavo di trasmissione; esso svolge le seguenti funzioni:

- trasmette e riceve i segnali della rete;
- rileva la portante ed eventuali collisioni;
- invia la sequenza di jamming quando viene rivelata una collisione.

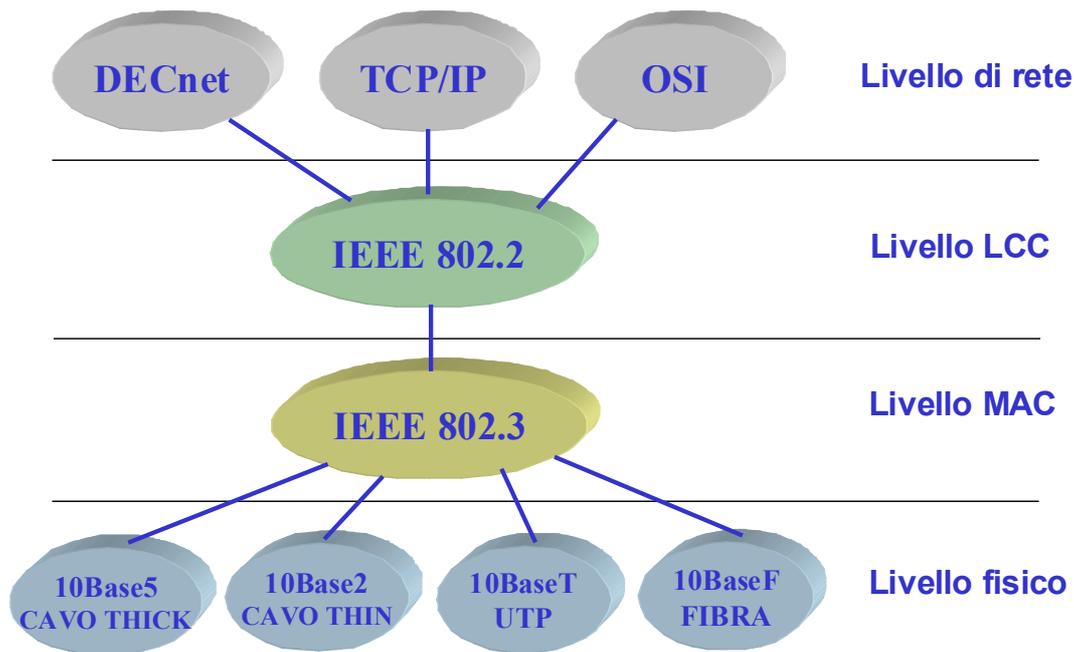


Figura 5.12. Differenti versioni dello standard IEEE 802.3 a seconda del tipo di mezzo trasmissivo utilizzato.

Ripetitori

Un repeater serve ad estendere la lunghezza della rete superando i limiti imposti dagli standard per la singola rete locale a causa dell'attenuazione introdotta dai mezzi trasmissivi. Un repeater opera a livello fisico e ha lo scopo di ricevere, amplificare e ritrasmettere i segnali.

I repeater possono essere divisi in due classi:

- *Repeater di classe I.* Questo tipo di repeater rigenera i simboli ricevuti, per cui deve elaborare i segnali e quindi introduce un ritardo di trasmissione. Infatti il segnale analogico ricevuto da una porta viene trasformato in digitale, rigenerato e trasmesso sull'altra porta in forma analogica. Per realizzare queste operazioni di rigenerazione del segnale è necessario un buffer, che introduce un ritardo (circa 5 ms). Per evitare che il ritardo introdotto dai repeater possa portare alla sovrapposizione tra due pacchetti adiacenti eliminando l'Inter-Packet Gap di 9.6 μ s, è necessario imporre che tra due

qualunque transceiver si possono avere al massimo quattro repeater. Questo tipo di repeater può essere utilizzato per collegare tra loro due segmenti di rete realizzati con mezzi fisici diversi (cavo, doppino o fibra ottica).

- *Repeater di classe II.* Questo tipo di repeater amplifica il segnale ricevuto all'ingresso di una porta e lo ritrasmette su tutte le altre porte senza effettuare una rigenerazione. Per questo motivo questi dispositivi possono collegare soltanto segmenti della rete realizzati con lo stesso tipo di mezzo fisico. Anche in questo caso il numero di repeater che si possono trovare tra due qualsiasi transceiver è limitato. Infatti quando un pacchetto viene ricevuto su una porta di ingresso, il repeater inizia a leggere il preambolo e a sincronizzare la sua trasmissione; una volta recuperato il sincronismo, il repeater inizia a trasmettere il segnale amplificato sulla porta di uscita, ma i simboli serviti per la sincronizzazione sono persi, per cui il repeater distrugge una parte del preambolo.

Collegamento di una stazione ad una rete Ethernet a 10 Mbit/s.

La struttura generale del collegamento di una stazione terminale ad una rete Ethernet è mostrata nella Figura 5.13. In questo schema possono essere distinti i seguenti elementi:

- **Mezzo fisico:** rappresenta il mezzo trasmissivo, che può essere di vario tipo.
- **MDI (Medium Dependent Interface):** consente di collegare la stazione al mezzo fisico e quindi di ricevere o trasmettere i segnali sulla rete. Il dispositivo utilizzato dipende dal mezzo fisico utilizzato. Ad esempio MDI può essere un BNC o un attacco a vampiro nel cavo coassiale.
- **MAU o transceiver.**
- **Cavo AUI.**
- **Scheda Ethernet.**

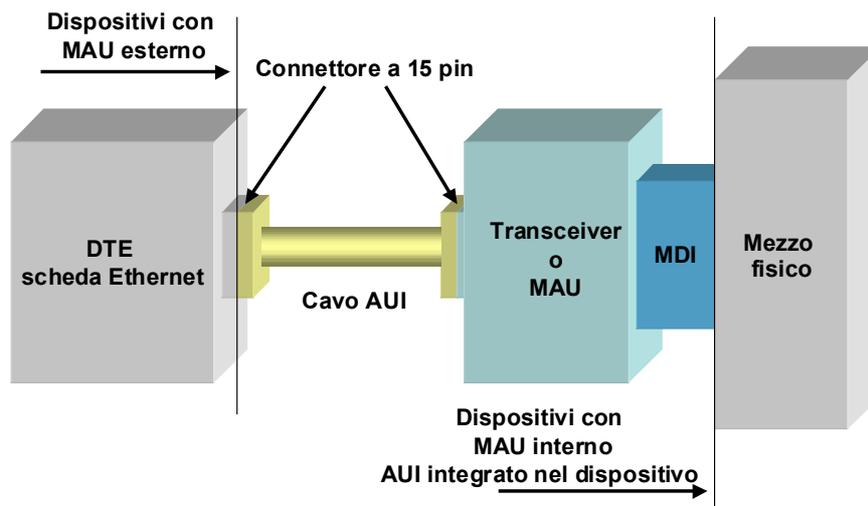


Figura 5.13. Schema del collegamento di una stazione terminale alla rete Ethernet.

5.5 Caratteristiche dei diversi tipi di cablaggio

10Base5

Il cablaggio 10Base5, indicato anche come **thick Ethernet**, utilizza un cavo coassiale RG8. Lo schema del collegamento di una stazione di rete è mostrato nella Figura 5.14. La struttura della rete è tipicamente a bus ed è mostrata nella Figura 5.15.

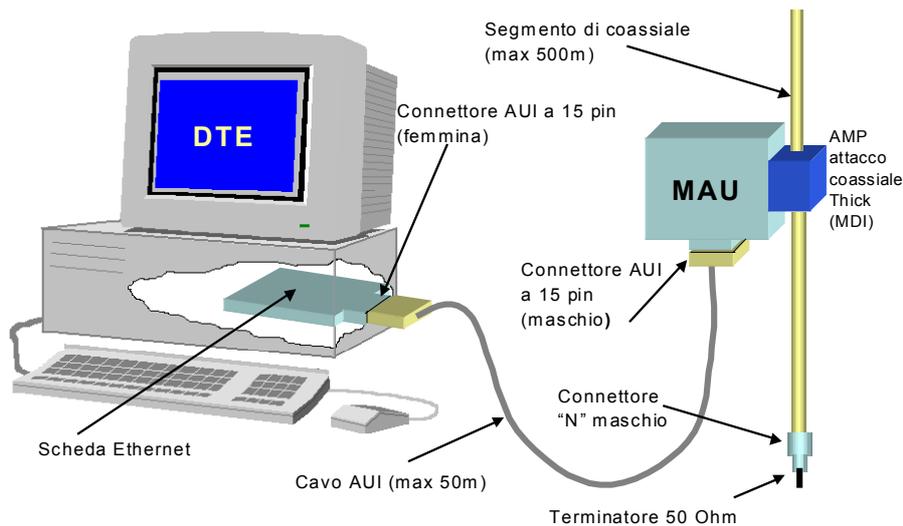


Figura 5.14. Schema del collegamento di una stazione ad una rete Ethernet 10Base5.

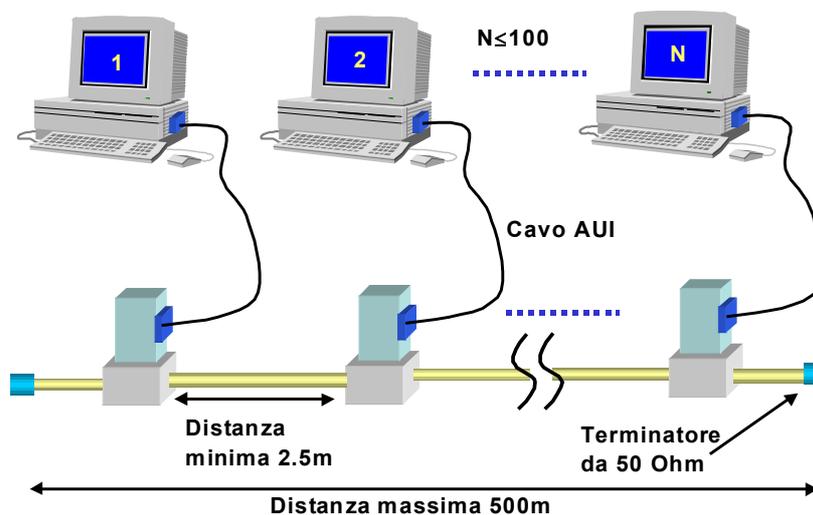


Figura 5.15. Configurazione di un sistema 10Base5.

Il transceiver o MAU è in grado di trasmettere e ricevere segnali su un segmento di cavo coassiale di 500 m. Il MAU è connesso al cavo coassiale mediante una connessione a vampiro, pertanto esso è a diretto contatto con l'anima del cavo. Questa connessione può

essere fatta ogni 2.5 m e per questo sul cavo giallo sono presenti dei segni neri che individuano tali punti. Il transceiver è un dispositivo che contiene tutta l'elettronica necessaria per il rilevamento della portante e delle collisioni. Quando si verifica una collisione, il transceiver invia la sequenza di jamming. Un transceiver può essere condiviso da vari computer (fino ad un massimo di 8). Il transceiver è connesso alla stazione mediante un cavo di transceiver o AUI, che non può essere più lungo di 50 m. il cavo AUI è connesso alla scheda di interfaccia mediante un apposito connettore con 15 piedini. Le principali attività svolte dall'interfaccia sono:

- ricezione e trasmissione dei frame;
- controllo degli errori.

Le principali caratteristiche dello standard 10Base5 sono le seguenti:

- *Mezzo di trasmissione:* cavo coassiale schermato (RG8, cavo giallo), codifica di Manchester in banda base.
- *Velocità di trasmissione:* 10 Mbit/s.
- *Lunghezza di un segmento:* 500m.
- *Numero massimo di segmenti:* 5.
- *Numero massimo di stazioni per segmento:* 100.
- *Numero massimo di stazioni sulla rete:* 1023.
- *Distanza massima tra due stazioni sulla rete:* 2.8 Km.
- *Distanza minima tra due stazioni adiacenti sulla rete:* 2.5 m.
- *Numero massimo di repeater tra due qualsiasi stazioni sulla rete:* 2.

10Base2

Il cablaggio 10Base2, noto anche con il nome di thin Ethernet, utilizza un cavo coassiale fine RG-58A/U o coax thin. Ciascun segmento ha una lunghezza massima di 185 m. Lo schema del collegamento di una stazione alla rete è mostrato nella Figura 5.16.

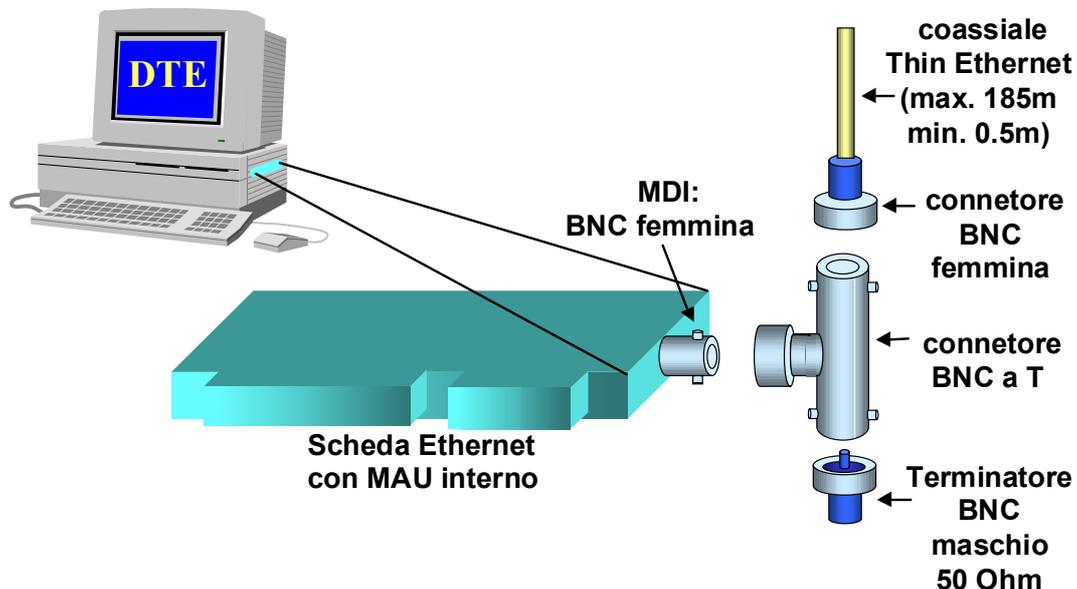


Figura 5.16. Schema del collegamento di una stazione ad una rete Ethernet 10Base2.

La connessione di ciascuna stazione al cavo è realizzata mediante connettori BNC passivi, formano una giunzione a T. La struttura della rete è di tipo a bus, come mostrato nella Figura 5.17.

Poiché il cavo ha uno spessore ridotto, la distanze sono minori (185 m per ogni spezzone) e può permettere la connessione di un numero minore di stazioni (30 per ogni segmento) rispetto alla rete 10Base5. Tuttavia, le dimensioni ridotte rendono il cavo più maneggevole e quindi facilitano il cablaggio.

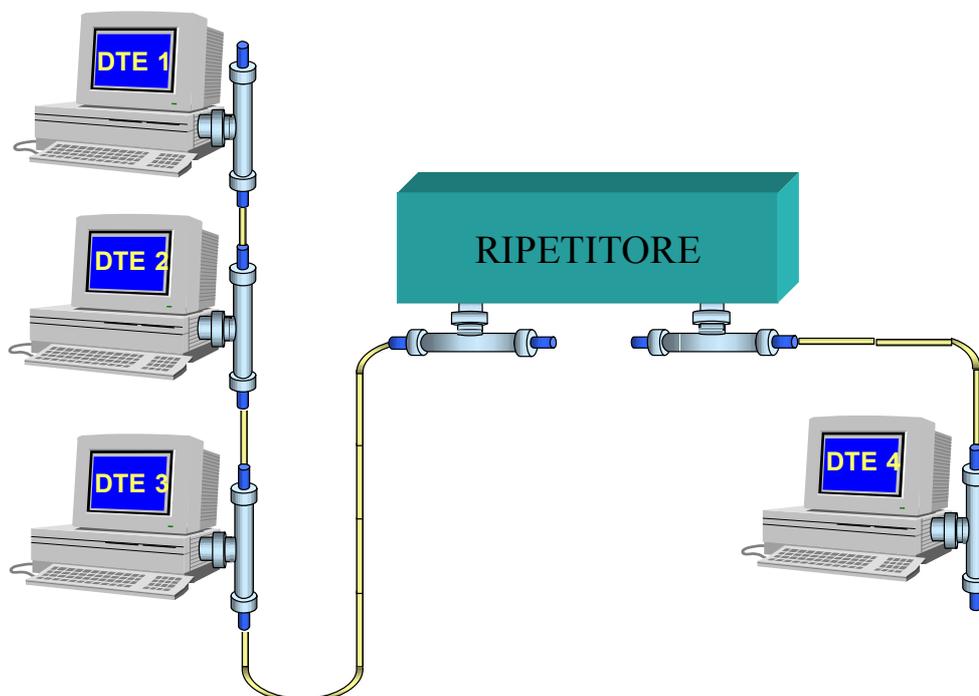


Figura 5.17. Configurazione della rete Ethernet 10Base2.

Le principali caratteristiche della rete 10Base2 sono le seguenti:

- *Topologia:* bus;
- *Mezzo di trasmissione:* cavo coassiale schermato (RG58), codifica di Manchester in banda base;
- *Velocità di trasmissione:* 10 Mbit/s;
- *Lunghezza massima del cavo di collegamento alla rete:* 50 m;
- *Lunghezza massima di un segmento:* 185 m;
- *Numero massimo di stazioni per segmento:* 30;
- *Distanza minima tra due stazioni adiacenti sulla rete:* 0.5 m.

10BaseT

Lo standard 10BaseT utilizza il doppino telefonico UTP per realizzare i collegamenti e secondo lo standard ammette la connessione di due sole stazioni nella modalità punto-punto. Lo schema per il collegamento di una struttura alla rete è mostrato nella Figura 5.18.

A causa delle caratteristiche dello standard, la struttura della rete 10BaseT è di tipo stellare (come mostrato nella Figura 5.19). Le diverse stazioni sono collegate ciascuna ad una porta di un HUB di un ripetitore multi-porta. La struttura 10BaseT ha incontrato un notevole successo per i numerosi vantaggi che offre, quali:

- il doppino telefonico è semplice da installare e presenta un ingombro e un costo ridotto;
- la connessione di tipo stellare consente di modificare in modo semplice la rete, poiché le diverse stazioni sono collegate in modo indipendente.

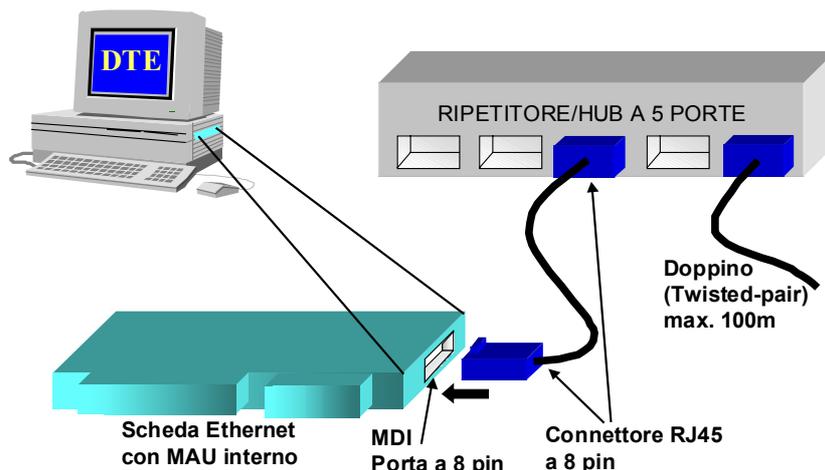


Figura 5.18. Schema del collegamento di una stazione ad una rete Ethernet 10BaseT.

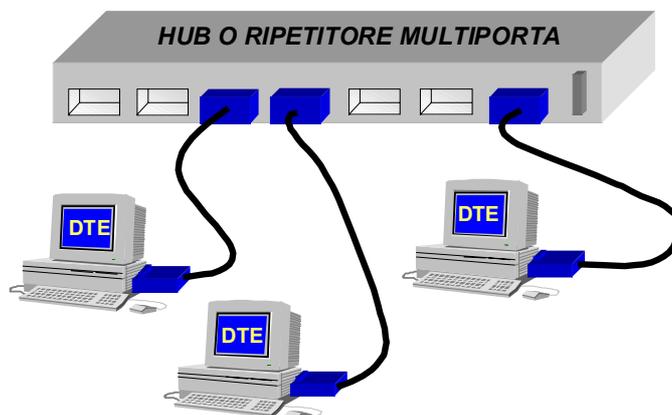


Figura 5.24. Configurazione di una rete Ethernet 10BaseT.

Le principali caratteristiche dello standard 10BaseT sono le seguenti:

- *Topologia della rete:* stella
- *Mezzo di trasmissione:* doppino telefonico non schermato (UTP) a due o quattro fili di categoria 3,4 e 5; codifica di Manchester in banda base;
- *Velocità di trasmissione:* 10 Mbit/s;
- *Lunghezza di un segmento:* 100 m.

10BaseF

Lo standard 10BaseF utilizza le fibre ottiche per la trasmissione del segnale e quindi garantisce elevate prestazioni e maggiori distanze. La distanza massima di un segmento è 2 Km. Il cablaggio 10BaseF è diviso in 3 standard:

- 10BaseFB (Fiber Backbone);
- 10BaseFL (Fiber Link);
- 10BaseFP (Fiber Passive).

10BaseFB

Questo standard è relativo a segmenti in fibra ottica per la connessione punto-punto di due ripetitori in una dorsale. Tuttavia spesso può essere utilizzato anche in una struttura stellare mediante ripetitori multiporta. Le regole di configurazioni impongono che il segmento di 10BaseFB può interconnettere due ripetitori e non stazioni terminali; ogni segmento può avere una lunghezza massima di 2 Km.

10BaseFL

Questo standard specifica le modalità di connessione tra un concentratore e una stazione periferica mediante un collegamento punto-punto. Per collegare più stazioni terminali è necessario utilizzare una configurazione a stella. Lo schema del collegamento di una stazione è mostrato nella Figura 5.20. Il segmento FL collega il concentratore o hub al MAU della stazione terminale e può avere una lunghezza massima di 2 Km. Il MAU, indicato in questo caso con FOMAU (Fiber Optic MAU), è connesso all'interfaccia Ethernet mediante un cavo AUI.

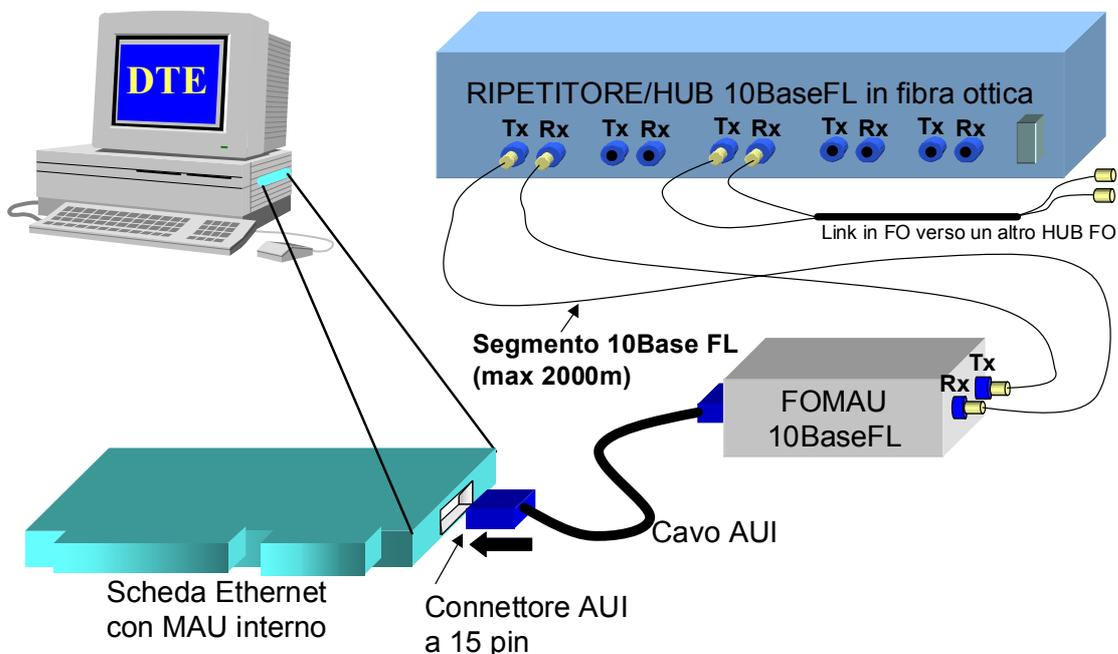


Figura 5.20. Schema del collegamento di una stazione ad una rete 10BaseFL.

Lo standard 10BaseFP definisce una rete a topologia stellare, costituita da vari segmenti in fibra ottica connessi ad un concentratore passivo. La stella passiva divide il segnale ottico entrante da una porta su tutte le altre porte di uscita. In questo modo a ciascuna uscita viene inviato un segnale uguale a quello incidente, ma fortemente attenuato rispetto a quello entrante.

5.6 Configurazione di una LAN Ethernet in un singolo dominio di collisione

La struttura di una LAN Ethernet è influenzata da vari parametri, quali:

- l'attenuazione dei cavi di trasmissione;
- i disturbi e i ritardi introdotti dai repeater;
- i parametri che definiscono il funzionamento del protocollo CSMA/CD quali *l'inter packet gap* e il *round-trip delay*.

Questi fattori, oltre ad imporre un valore massimo di lunghezza per ogni segmento della rete, limitano anche il numero dei segmenti, la loro configurazione e il numero di ripetitori che possono essere utilizzati.

In questo paragrafo descriviamo i principali parametri che limitano le dimensioni di una LAN Ethernet all'interno dello stesso dominio di collisione. Si definisce **dominio di collisione** una singola rete CSMA/CD in cui avviene una collisione se due computers trasmettono nello stesso istante. Un esempio di dominio di collisione è mostrato nella Figura 5.21. I repeater, gli hub e i transceiver sono dispositivi che operano a livello 1 e quindi non sono in grado di suddividere una LAN Ethernet in più domini di collisione. Per suddividere una LAN Ethernet in più domini di collisione è necessario utilizzare dispositivi in grado di operare a livelli OSI superiori e rispetto a primo, quali bridge, switch e router.

5.7 Calcolo della massima distanza tra due stazioni Ethernet

La massima distanza tra due stazioni è limitata dai seguenti parametri:

- un pacchetto ha una lunghezza minima di 64 byte = 512 bit;
- la fine di un pacchetto è marcata da una periodo di assenza di trasmissione (IGP) uguale a 9.6 μ s;
- la collisione tra stazioni deve essere rivelata prima che il pacchetto sia stato trasmesso completamente.

Come abbiamo visto in precedenza, questi parametri determinano una distanza massima di circa 5 Km. In realtà a causa dei rumori e delle attenuazioni la distanza massima consentita per gli standard è molto minore (al massimo intorno a 2 Km).

Limiti sul massimo numero di repeater nell'interno di un dominio di collisione

Il frame Ethernet non possiede un delimitatore di fine pacchetto; tuttavia, la presenza dell'intervallo IGP consente di effettuare tale riconoscimento. Una riduzione di tale intervallo tra due pacchetti successivi può portare a non riconoscere la fine del primo pacchetto ed alla loro fusione in un unico frame

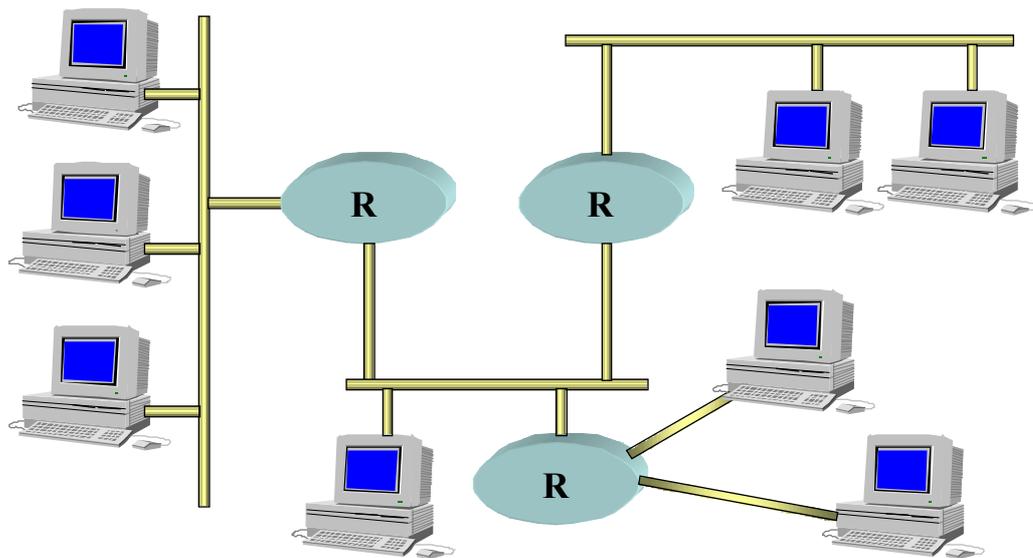


Figura 5.21. Esempio di un dominio di collisione Ethernet.

I principali responsabili di una riduzione dell'IGP sono i repeater. Infatti ciascun repeater deve sincronizzarsi sul clock del trasmettitore e quindi può distruggere parte del preambolo prima di agganciare il sincronismo. Per eliminare questo inconveniente il repeater deve rigenerare il preambolo, per cui introduce un ritardo variabile da pacchetto a pacchetto. Per risolvere questo inconveniente, si limita il numero di repeater all'interno di uno stesso dominio di collisione. Occorre notare che i repeater che collegano fibre ottiche sono considerati nel conteggio come mezzo repeater.

Regole per la configurazione di una rete Ethernet in un dominio di collisione

Le regole stabilite da IEEE 802.3 impongono un insieme di limiti nella progettazione di una rete Ethernet. Esistono sostanzialmente i seguenti due tipi di regole:

Regola 1

- il numero massimo di segmenti Ethernet tra due stazioni qualsiasi sulla rete LAN non deve essere superiore a 5, di cui tre al massimo in cavo coassiale.
- il numero massimo di repeater tra due stazioni qualsiasi sulla rete non deve essere superiore a 4. La rete può contenere anche un numero superiore di repeater, ma deve essere rispettata la regola precedente. L'insieme delle due regole precedenti, viene indicata anche con il nome di **regola 5-4-3**. Un esempio è mostrato nelle Figure 5.22.a e 5.22.b sono mostrati due esempi di rete correttamente progettata.
- se sono presenti 4 ripetitori ogni singolo segmento di cavo coassiale non deve superare i 500 m;
- se sono presenti 3 ripetitori, ogni singolo FOIRL non deve superare 1 Km.

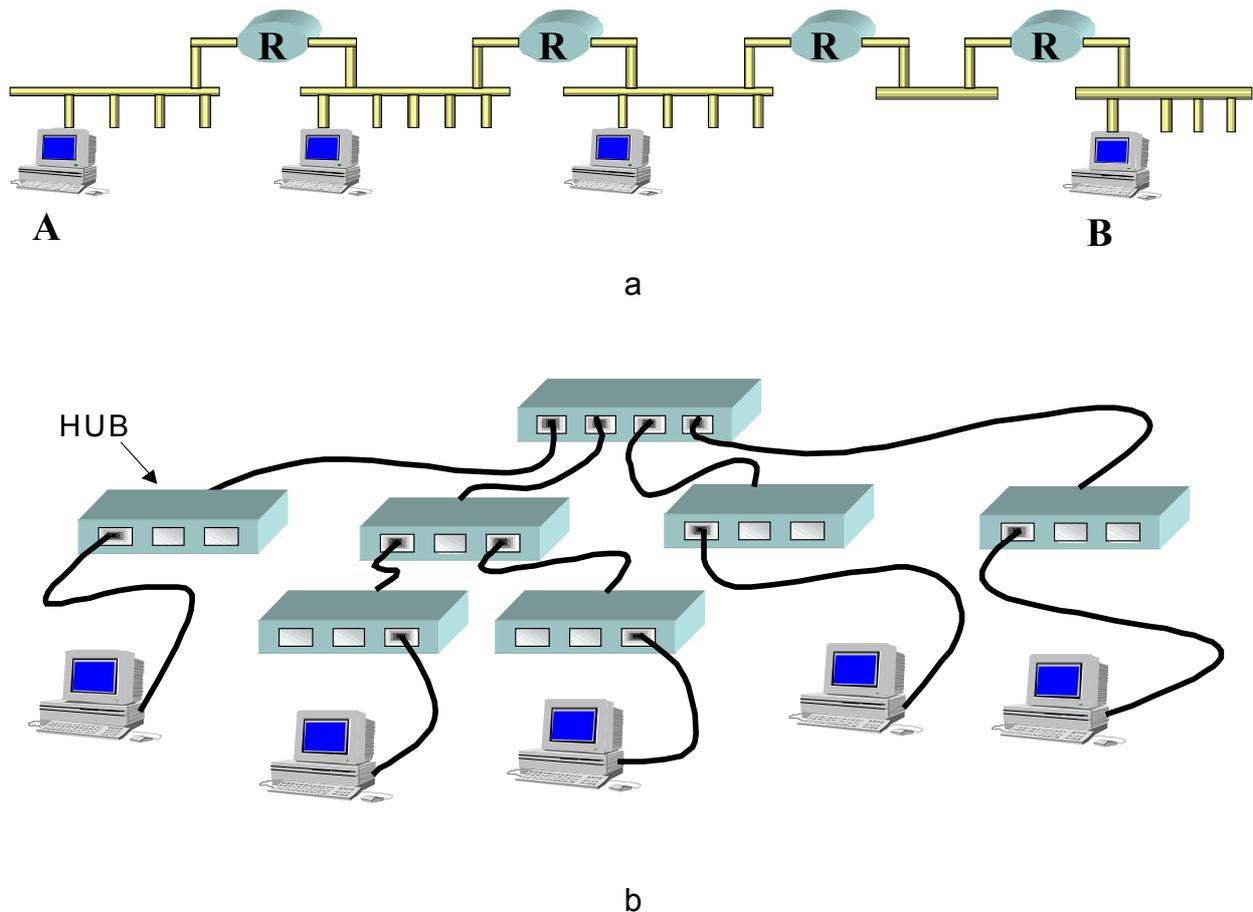


Figura 5.22. Due configurazioni ammissibili per la rete Ethernet.

Regola 2

Una serie di regole meno restrittive delle precedenti sono le seguenti:

- 4 repeater al massimo;
- 5 segmenti, di cui al massimo 3 mixing;
- i cavi AUI per i MAU 10BaseFB e FL non devono eccedere i 25 m.
- quando si ha un path con 5 segmenti in fibra ottica:
 - i segmenti FOIRL, 10BaseFB, 10BaseFL non possono superare i 500 m;
 - il segmento più lungo non deve eccedere i 300 m;
- se si hanno 4 segmenti e 3 ripetitori in un path
 - ogni segmento inter-repeater in fibra non deve superare i 1000 m per FOIRL, 10 Base FB o FL e 700 m per 10 Base FP;
 - la lunghezza massima di un segmento in fibra ottica che interconnette una stazione d un repeater non deve superare i 400 m nel caso 10 Base FL e 300 m nel caso 10 Base FP.

5.8 Fast Ethernet

La rapida crescita delle reti locali ed il crescente sviluppo di applicazioni e servizi multimediali ha portato all'esigenza di realizzare reti LAN di elevate velocità. All'inizio degli anni '90 sono state sviluppate e successivamente standardizzate da IEEE due differenti tecnologie a 100 Mbit/sec:

- **Fast Ethernet o IEEE 802.3u**
- **100 VG AnyLAN**

Fast Ethernet ha riscosso subito un grande successo poiché è compatibile con la rete Ethernet, e ne mantiene le caratteristiche di semplicità ed efficienza. In particolare, Fast Ethernet conserva tutti i parametri di Ethernet:

- utilizza lo stesso protocollo di accesso multiplo CSMA/CD di Ethernet;
- utilizza lo stesso meccanismo di gestione delle collisioni;
- utilizza lo stesso formato e la stessa lunghezza minima.

Nel funzionamento del protocollo CSMA/CD, la velocità di trasmissione ammissibile è legata alla lunghezza minima del pacchetto e al round-trip delay (e quindi alla massima distanza tra le stazioni sulla stessa rete). Poiché Fast Ethernet deve essere compatibile con Ethernet, la lunghezza minima e il formato del pacchetto devono essere mantenuti inalterati. Come conseguenza, per aumentare la velocità di trasmissione a 100 Mbit/s è necessario ridurre di un fattore 10 il round-trip delay e quindi la distanza massima.

Struttura di base di Fast Ethernet

Gli elementi e i dispositivi necessari per collegare una stazione terminale ad una rete Fast Ethernet sono:

- il *mezzo fisico*, utilizzato nella realizzazione della rete;
- il dispositivo *MDI (Medium Dependent Interface)*, che consente di connettere la stazione al mezzo fisico e che può essere un connettore a 8-pin nel caso di doppino telefonico o un connettore per la fibra ottica;
- il dispositivo *PHY (Physical layer device)*, che svolge le stesse funzioni del transceiver nel caso di Ethernet a 10 Mbit/s. Esso può essere realizzato sia all'interno della porta Ethernet del dispositivo, sia in un piccolo contenitore esterno equipaggiato con cavo MII a 40 pin;
- il dispositivo *MII (Medium Independent Interface)* è un insieme di circuiti elettronici che serve a collegare la scheda Ethernet o Fast Ethernet, che genera le funzioni di controllo di accesso al mezzo, e il PHY, che invia il segnale sulla rete. Questo dispositivo può consentire di operare sia a 10 Mbit/s, sia a 100 Mbit/s e quindi può permettere il collegamento di segmenti 10Base-T e 100Base-T. Il suo compito è quello di convertire i segnali analogici ricevuti dal PHY in segnali digitali per qualunque dispositivo che può essere collegato in rete. Il dispositivo MII è opzionale;
- *Scheda di rete o interfaccia Fast Ethernet (o Ethernet)*, che contiene l'elettronica e il software necessari per eseguire i controlli di accesso al canale e per trasmettere i frame. Le schede Fast Ethernet differiscono da quelle di Ethernet solo per la velocità e

il tipo di cablaggio ammesso. Quasi tutte le schede Fast Ethernet o DTE ammettono la possibilità di operare a 10 o 100 Mbit/s.

Il passaggio da 10 a 100 Mbit/s viene fatto in modo automatico mediante un processo di *autonegoziazione*.

Cablaggio

Il cablaggio di una rete Fast Ethernet è caratterizzato dai seguenti tre standard:

- 100Base-TX
- 100Base-T4
- 100Base-FX

100Base-TX

Il segmento 100Base-TX utilizza il *doppino telefonico UTP o STP* con le seguenti caratteristiche:

- due coppie di cavi bilanciati non schermati (UTP) di categoria 5;
- due coppie di cavi schermati (STP) bilanciati con impedenza caratteristica di 150 Ω .

In ambedue i casi una coppia è utilizzata per trasmettere e l'altra per ricevere, come in 10Base-T.

Il segnale è codificato mediante un codice 4B/5B con una frequenza di trasmissione uguale a 125 MHz. Lo schema completo del collegamento è mostrato nella Figura 5.23.

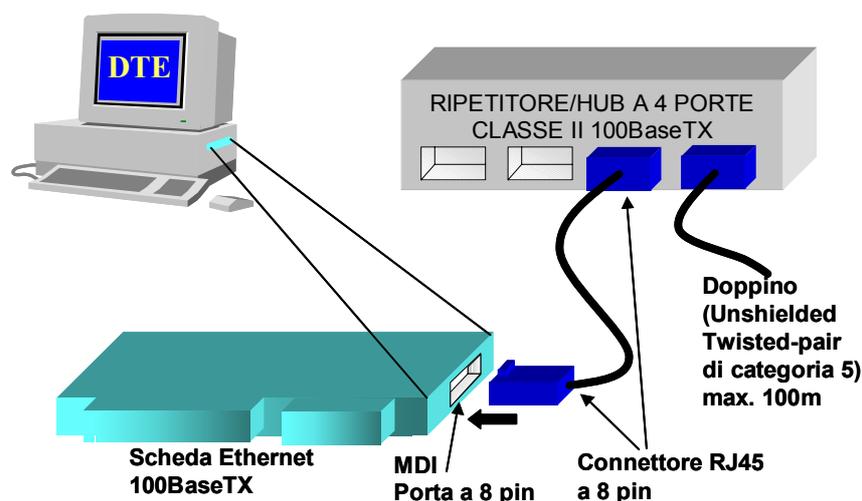


Figura 5.23. Schema del collegamento di un host con una rete 100 Base TX.

Il sistema 100BASE-TX permette collegamenti lunghi al massimo 100 metri. In cui la distanza può variare a seconda della potenza del segnale. Se ad esempio si usa un cavo di buona qualità in un segmento 10BASE-T, è possibile raggiungere distanze di 150 metri.

Questo non è vero con Fast Ethernet. Sono disponibili dei tester per i cavi che permettono di controllarne le caratteristiche elettriche che devono sottostare a certe specifiche. Ad esempio si può controllare il grado di accoppiamento tra la coppia di trasmissione e quella di ricezione, e l'attenuazione del segnale sul segmento.

Nel caso in cui sia necessario coprire distanze maggiori è necessario utilizzare ripetitori mediante una struttura a stella.

100BaseFX

Questa soluzione utilizza due cavi in fibra ottica multimodale. Ogni segmento può raggiungere una *lunghezza massima di 412 m*, anche se le fibre ottiche potrebbero raggiungere distanze maggiori. Questo limite viene stabilito per garantire la temporizzazione dei segnali.

Le strutture di connessione sono le stesse del 100Base-TX. Tuttavia in questo caso le massime distanze permesse per ogni segmento variano a seconda del numero e del tipo di ripetitori usati nel link. Se viene usato un singolo ripetitore di Classe II la massima distanza tra due DTEs è di 320 metri. Nel caso di due ripetitori di Classe II la distanza si riduce a 228 metri. Nel caso invece di un ripetitore di classe I la distanza massima è di 272 metri.

100Base-T4

Questo standard utilizza quattro coppie di cavi bilanciati della categoria 3 (UTP), come definito da ISO/IEC 11801. Questi cavi sono poco immuni al rumore sopra i 25 Mhz e non sarebbero compatibili con le specifiche degli standard europei. Per questo motivo per utilizzare cavi di categoria 3 si usano quattro coppie di cavi.

Il segnale è codificato con un codice a blocchi conosciuto come 8B/6T. *La massima distanza, come nel caso 100Base-TX, è uguale a 100m.*

Ripetitori e HUB

I ripetitori sono utilizzati per estendere un segmento di una rete Fast Ethernet. Essi provvedono alla temporizzazione ed alla rigenerizzazione del segnale nel trasporto dei dati. Gli hub sono ripetitori multiporta e consentono di realizzare una topologia di tipo stellare. Esistono due classi di ripetitori: classe I e II. Lo standard Fast Ethernet impone le seguenti regole:

- *è ammesso un solo ripetitore di classe I tra due qualunque DTE;*
- *sono ammessi al massimo due ripetitori di classe II tra due qualunque DTE.*

I repeater di classe I hanno un ritardo di temporizzazione più lungo, ed operano trasformando il segnale analogico alla porta di ingresso, in digitale, rigenerandolo e ritrasformarlo in analogico per essere trasmesso sulla porta di uscita. Queste operazioni consentono di ripetere segnali tra segmenti Fast Ethernet che utilizzano tecniche di segnalazione diverse, come ad esempio 100Base-TX/-FX e 100Base-T4. Un repeater di

classe II presenta un ritardo più piccolo. Poiché esso ripete il segnale ricevuto su una porta di ingresso sulla porta di uscita, amplificando il segnale senza alcuna trasformazione. Per questo motivo, i ripetitori in questa classe non possono collegare due segmenti con caratteristiche diverse.

Nel caso di repeater di classe II *la massima distanza permessa tra ciascuna coppia di HUB è 5*.

Switched Fast Ethernet

Per realizzare una rete Fast Ethernet con estensione superiore a quanto consentito dalle precedenti regole, si può utilizzare una struttura multi-segmento. In questo caso la LAN è divisa in vari sottodomini; tale operazione, detta di multisegmentazione, può essere realizzata mediante l'utilizzo di uno *switch* o di un dispositivo in grado di operare a livello MAC o superiore (switching hub, bridge, router).

Nella Figura 5.24.a è riportato lo schema della rete Fast Ethernet con un repeater di classe I o di classe II. In esso la massima distanza tra le stazioni o diametro D della rete è uguale a d_1+d_2 , dove d_1 e d_2 indicano la distanza del repeater dalle due stazioni più distanti. Nella Figura 5.24.b è mostrato l'utilizzo di due repeater di classe II utilizzati per estendere la rete Fast Ethernet. In questo caso $D= d_1+d_2+d_3$.

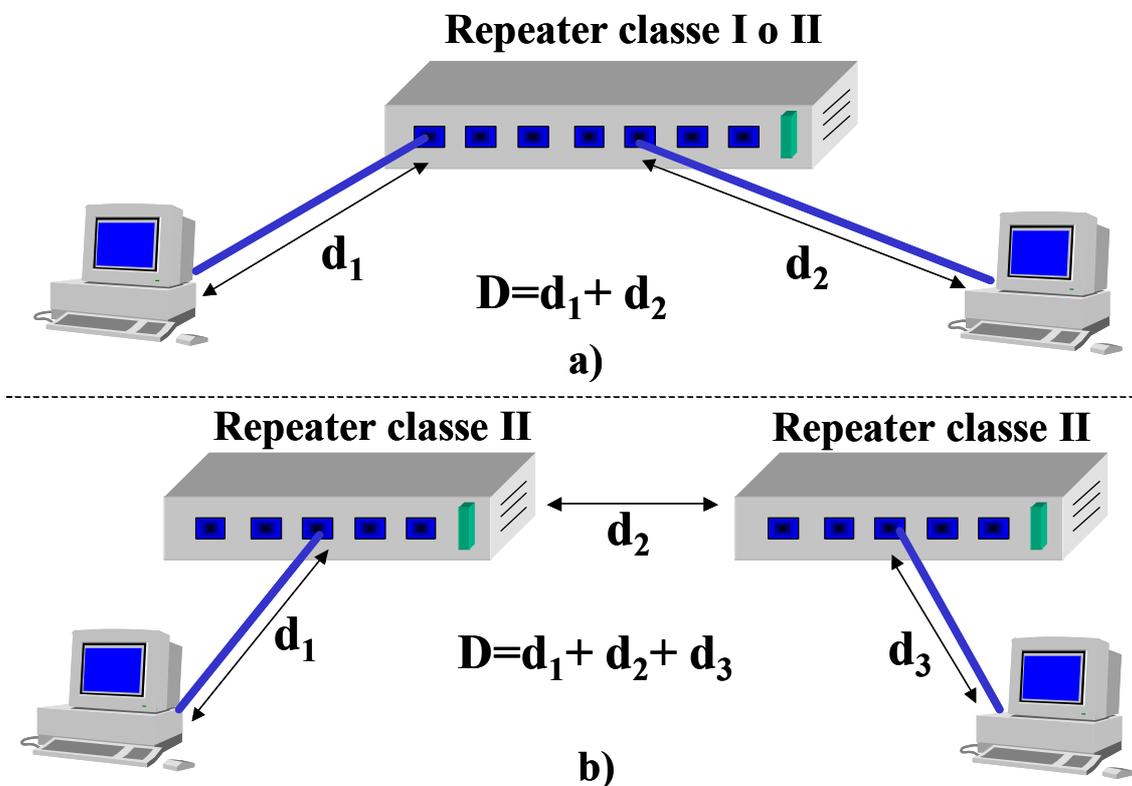


Figura 5.24. Configurazione di una rete Fast Ethernet: a) un solo repeater; b) due repeater.

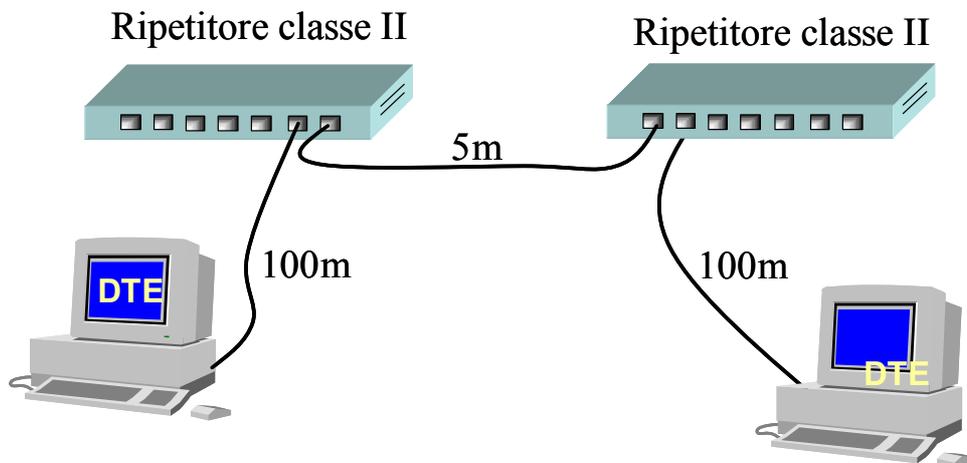


Figura 5.25. Configurazione di una rete Fast Ethernet utilizzando due repeater di classe II.

5.9 Gigabit Ethernet

La straordinaria crescita del traffico nelle reti LAN e lo sviluppo delle applicazioni multimediali ha determinato la necessità di realizzare reti locali con velocità elevate. Una delle tecnologie più interessanti è Gigabit Ethernet, che opera ad una velocità di 1 Gbit/s e che rappresenta un'estensione di Ethernet e Fast Ethernet, con le quali mantiene una completa compatibilità.

La rete Gigabit Ethernet nasce nel novembre 1995 quando Compaq Computer Communication propose al comitato IEEE 802 l'architettura base di una rete Ethernet a 1 Gbit/s. All'inizio del 1996 IEEE formò il gruppo IEEE 802.3z con lo scopo di definire uno standard per tale rete. Nell'aprile 1996 fu costituita "Gigabit Ethernet Alliance" da Compaq ed altre aziende per accelerare lo sviluppo di tale rete. Attualmente tale organismo è composto da oltre 70 enti.

La rete Gigabit Ethernet utilizza il protocollo CSMA/CD e per questo motivo è completamente compatibile con Ethernet e Fast Ethernet. Le sue principali caratteristiche sono:

- opera ad una velocità di 1 Gbit/s;
- utilizza un formato del frame identico a quello di Ethernet e Fast Ethernet;
- presenta gli stessi valori di lunghezza minima e massima per il frame delle reti Ethernet e Fast Ethernet;
- consente operazioni full duplex e half-duplex.

Mezzi fisici

La rete Gigabit Ethernet può essere realizzata utilizzando vari tipi di cavi. Lo standard IEEE 802.3z ratificato nel giugno 1998, è stato definito per l'utilizzo su fibra ottica (standard 1000 Base SX e 1000 Base LX) o su doppino telefonico schermato (standard 1000 Base CX). Un altro gruppo IEEE 802.3ab sta definendo il livello fisico di una rete Gigabit Ethernet, realizzata mediante doppino telefonico UTP di categoria 5 (standard 1000 Base-T). Descriviamo in dettaglio le principali caratteristiche della rete Gigabit Ethernet a seconda del mezzo fisico utilizzato.

Standard	Tipo fibra	Diametro fibra μm	Banda (MHZ \times Km)	Massima distanza (m)
1000 Base SX	Multimodale	62,5	160	220
	Multimodale	62,5	200	275
	Multimodale	50	400	500
	Multimodale	50	500	550
1000 Base LX	Multimodale	62,5	500	550
	Multimodale	50	400	550
	Multimodale	50	500	550
	Multimodale	9	NA	5000

Tabella 5.5. Caratteristiche delle fibre ottiche per realizzare Gigabit Ethernet.

5.10 Token Ring

I protocolli per l'accesso multiplo di tipo deterministico consentono di eliminare il problema delle collisioni tra stazioni presenti nelle reti locali che utilizzano protocolli casuali, quali ad esempio la rete Ethernet. Questo vantaggio è generalmente ottenuto a scapito della complessità realizzativa della rete. IBM ha sviluppato alcune reti locali che utilizzano la tecnica di accesso multiplo a **gettone** o **token**. Queste reti sono state successivamente standardizzate dal comitato IEEE 802 e rappresentano, dopo Ethernet, le reti più diffuse.

La prima rete basata sul token utilizzava una struttura a bus ed è stata standardizzata come rete **token bus** o **IEEE 802.4**. Tuttavia, essa non ha mai incontrato una grande diffusione ed attualmente è praticamente non utilizzata. Per questo motivo non sarà ulteriormente considerata. Nel 1976 IBM propose un'evoluzione basata su una tipologia ad anello e nota come *token ring*, che operava ad una velocità di 4 Mbit/s. Il comitato IEEE 802 ha elaborato lo standard **802.5** basato su tale rete introducendo alcune modifiche limitate e sviluppa una nuova versione della rete con una velocità di trasmissione di 16 Mbit/s.

La rete Token Ring utilizza una configurazione logica ad anello, come mostrato nella Figura 5.26. Ogni stazione è connessa all'anello mediante un apparato **MAU (Medium Access Unit)**.

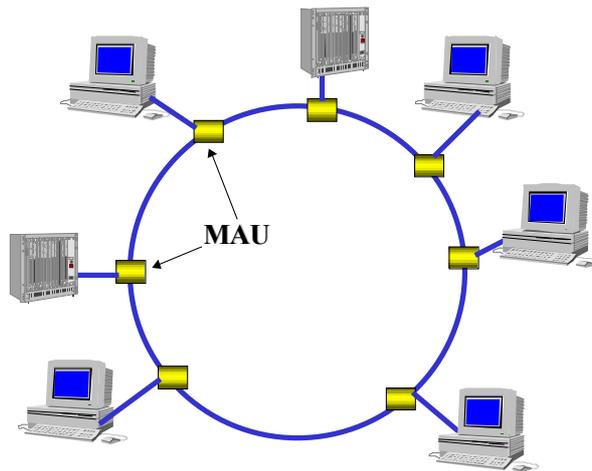


Figura 5.26. Configurazione logica di una rete token ring.

L'accesso della rete è gestito mediante un opportuno gettone: una stazione può trasmettere soltanto quando riceve il gettone. Esso è ricevuto sequenzialmente dalle stazioni sull'anello. Quando una stazione riceve il token, lo invia alla stazione successiva sull'anello se non ha dati da trasmettere. Nel caso opposto la stazione cattura il token, invia il pacchetto informativo sull'anello ed entra nello stato di attesa. Il pacchetto raggiunge la stazione di destinazione, ma non viene eliminato; esso continua il percorso sull'anello da stazione a stazione fino a ritornare alla stazione che lo ha generato. Quest'ultima provvede ad eliminarlo dall'anello e ad inviare il token alla stazione successiva.

Il token viene generato inizialmente da una *stazione master*; questa stazione controlla inoltre la presenza di errori od alterazioni. In questi casi o se il token viene perduto, la stazione master lo rigenera e lo ritrasmette sull'anello. In caso di malfunzionamento o rottura della stazione master, essa viene sostituita da un'altra stazione presente sulla rete in base all'indirizzo di rete.

Livello MAC

Il Token nella rete 802.5 ha il formato mostrato nella Figura 5.27. Esso è formato da tre campi, ciascuno dei quali di lunghezza 1 byte:

- **SD (Start Delimiter):** serve ad identificare l'inizio del token o di un frame informativo. Per questo contengono i bit J e K che violano il codice di Manchester.
- **AC (Access Control):** contiene le informazioni necessarie per l'accesso all'anello. *Il bit "T" indica se il frame ricevuto è un token o di tipo informativo. Se T=0 il frame è un token; se T=1 il frame è un pacchetto informativo. I bit PPP identificano un livello di priorità del pacchetto da 0 a 7, con 7 che indica la massima priorità. Il bit M indica se la trama è per il controllo del funzionamento dell'anello (M=0) oppure il tipo informativo (M=1). I bit RRR servono a prenotare il token utilizzando diversi livelli di priorità.*
- **ED (End Delimiter):** serve ad identificare la fine del token o di un frame informativo. Come SD, contiene i bit J e K che violano il codice di Manchester. Il bit I, detto

intermediate bit, serve ad indicare se la stazione che possiede il token ha altri pacchetti da trasmettere oppure no.

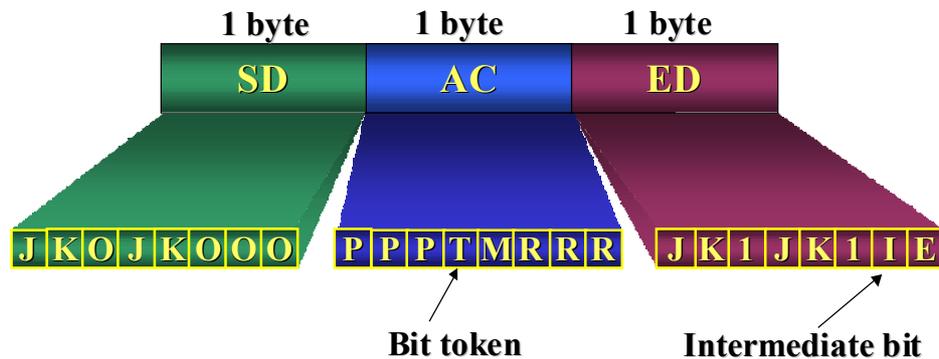


Figura 5.27. Formato del token.

Caratteristiche della trama informativa

La trama informativa presenta un numero maggiore di campi rispetto al token, come mostrato nella Figura 5.27. I campi presentano le seguenti caratteristiche:

- **SFS (Start Frame Sequence):** questo campo identifica l'inizio del frame ed è composto dai due campi SD e AC identici a quelli presenti nel token.
- **FC (Frame Control):** questo campo serve a controllare il frame. I primi 2 bit (FF) indicano il tipo della trama. Se FF=00, il pacchetto è un frame MAC utilizzato per scopi di management; se FF=01 il frame è stato generato a livello LLC. Nel primo caso (FF=0) il campo CCCCCC identifica le funzioni per cui è stato trasmesso il frame.
- **Destination address (DA):** questo campo identifica l'indirizzo della stazione di destinazione e può avere una lunghezza di 2 o 6 byte. Il primo bit del campo DA viene utilizzato per particolari funzioni di indirizzamento. Se tale bit è uguale a 0 il frame è diretto ad un solo utente il cui indirizzo è indicato dai bit successivi del campo DA. Se il bit è uguale ad 1, il frame è indirizzato ad un gruppo di utenti, mentre se tutti bit del campo DA sono uguali ad 1, il frame è indirizzato a tutte le stazioni connesse alla rete.
- **Source Address (SA):** questo campo contiene l'indirizzo della stazione che ha generato il frame. La lunghezza può essere di 2 o 6 byte.
- **Routing Information:** questo campo contiene le informazioni necessarie per instradare il messaggio dalla stazione sorgente a quella di destinazione.
- **Campo Dati:** questo campo contiene i dati informativi ed ha una lunghezza variabile (il massimo valore è 17749 byte).
- **FCS (Frame Check Sequence):** questo campo contiene i simboli di controllo del codice che serve a rivelare la presenza di errori nel frame.
- **EFS (End Frame Sequence):** questo campo, composto da due byte, serve ad identificare la fine del frame ed è composto dal sottocampo ED identico a quello presente nel token e dal sottocampo "Frame status". Questo sottocampo è costituito da una sequenza di bit viene seguita dal campo ACRR che serve a controllare la sua correttezza. I bit hanno il seguente significato:

- bit A: indica che l'indirizzo della stazione di destinazione è stato riconosciuto. La stazione che trasmette pone questo bit a 0, mentre la stazione che riconosce il proprio indirizzo nel campo "Destination address" pone tale bit a 1.
- bit C: indica che il frame è stato copiato dalla stazione di destinazione. Questo bit è posto a 0 dalla stazione di trasmissione ed è cambiato a 1 dalla stazione di destinazione.
- bit R: sono bit riservati per funzioni particolari.

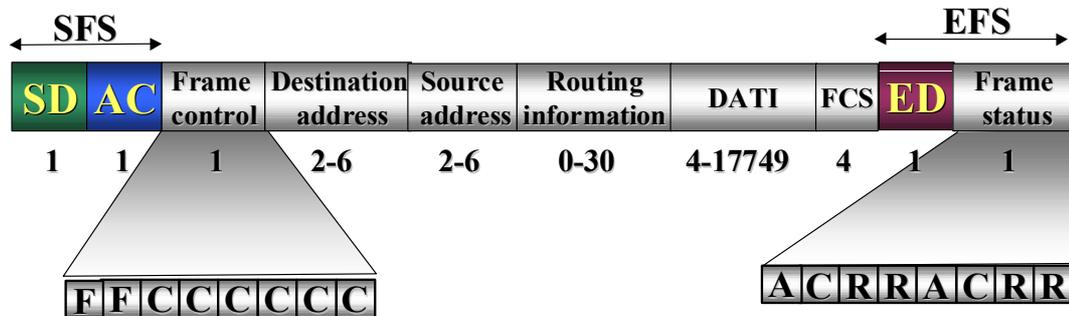


Figura 5.28. Formato della trama informativa in IEEE 802.5.

Funzionamento della rete token-ring

L'accesso delle stazioni alla rete è gestito attraverso il token. Per spiegare il funzionamento della rete consideriamo l'esempio mostrato nella Figura 5.29. Il token arriva alla stazione S1 che deve trasmettere un pacchetto. Una stazione connessa alla rete riceve il token e deve inviare un pacchetto dati. La stazione opera nel seguente modo:

- il campo SD del token viene ritrasmesso inalterato all'uscita e costituisce il primo campo del frame.
- la stazione cattura il token cambiando da 0 a 1 il valore del bit T contenuto nel campo AC, che viene poi trasmesso in uscita.
- la stazione genera i campi successivi (FC, DA, SA, RI i dati e FCS) del frame o se la stazione non ha altri pacchetti da trasmettere oppure se è scaduto il tempo concesso alla stazione per la trasmissione (THT), l'intermediate bit del campo ED viene lasciato a 0 ed invia nel canale ED. Nel caso opposto il bit viene messo ad 1 e la stazione trasmette il pacchetto successivo.
- quando la stazione che ha trasmesso un pacchetto riceve lo stesso pacchetto e lo riconosce come proprio mediante il campo SA toglie il pacchetto dalla rete ed invia in rete il token.

Ogni stazione deve leggere tutti i pacchetti che sono ricevuti al suo ingresso per verificare se l'indirizzo di destinazione contenuto nell'header del pacchetto coincide con il proprio indirizzo MAC. In caso positivo la stazione riceve il pacchetto e cambia i due bit "A e C" contenuti nel campo EFS; inoltre la stazione ritrasmette il pacchetto ricevuto sulla rete poiché esso dovrà essere controllato e gestito dalla stazione che lo ha trasmesso. Nel caso in cui la stazione non riconosca il proprio indirizzo, il pacchetto viene ritrasmesso inalterato sulla rete.

Come indicato in precedenza, attraverso i primi tre (bit PPP) i bit del campo AC contenuto nel token o nella trama informativa, è possibile stabilire differenti priorità di accesso al canale in modo da consentire una maggiore priorità ad alcuni tipi di traffico. *Le singole stazioni possono effettuare la prenotazione con un certo valore di priorità mediante i tre bit RRR del campo AC. Una stazione può catturare un token soltanto se ha una priorità maggiore od uguale a quella scritta nel token.*

La stazione che possiede il token può alzare od abbassare il valore di priorità dei bit PPP. In assenza di richieste di priorità, i campi PPP e FFF sono posti uguali a 0. Soltanto la stazione che ha elevato il valore di priorità, può riabbassarlo successivamente. Per evitare che il livello di priorità aumenti progressivamente; quando una stazione invia il token in rete pone il campo PPP al valore che tale campo aveva quando è stato catturato.

Livello fisico

La trasmissione dei segnali nello standard IEEE 802.5 avviene utilizzando una codifica di Manchester differenziata. La connessione di una stazione alla rete non viene realizzata direttamente, ma attraverso **un'unità di accesso (AU=Access Unit)**. Questa unità realizza le operazioni di inserzione o di esclusione della seconda in caso di guasto. In pratica varie unità AU sono raggruppate e insieme formano un concentratore **MAU (Multistation Access Unit)**.

Le MAU consentono di realizzare una struttura a stella, anche se da un punto di vista logico la rete è ad anello. Ogni MAU ha due porte speciali, chiamate *Ring In* e *Ring Out*, (Figura 5.29), *che possono essere utilizzate per collegare soltanto altre unità MAU e non collega altri dispositivi.* Ogni MAU ha anche almeno altre due porte (*Lobe ports*), che servono a collegare i dispositivi alla rete. Il collegamento di un dispositivo alla rete avviene attraverso una porta da cui partono due coppie di fili: una coppia per la trasmissione dal dispositivo alla rete ed una coppia per la ricezione.

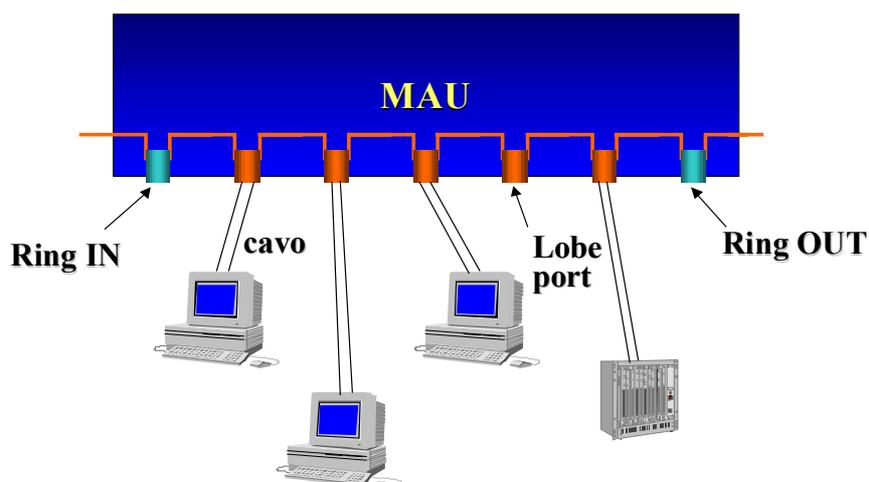


Figura 5.29. Unità MAU.

Nel caso in cui la rete sia realizzata con un'unica MAU (una rete con un numero limitato di dispositivi) le porte Ring In e Ring Out sono collegate tra loro, come mostrato nella Figura 5.30. Nel caso in cui la rete sia realizzata mediante diverse MAU, la porta di Ring di una MAU è connessa con la porta di Ring Out dell'altra MAU, come mostrato nella Figura 5.31. Ogni MAU può avere un numero di porte compreso tra 8 e 20 con velocità di 4 o 16 bit/s. esistono vari tipi di MAU con diverse caratteristiche:

- MAU passiva, che svolgono soltanto la funzione di connettere o disconnettere i dispositivi di rete. Oggi non sono più utilizzati.
- MAU attiva, che oltre a svolgere le funzioni di connessione, amplifica i segnali ricevuti o trasmessi sulle porte (lobo, Ring In e Out). Rappresentano un'ottima soluzione in molti cablaggi.
- MAU parzialmente attiva, che amplifica i segnali solo sulle porte di dorsale (Ring In e Out). Rappresentano una buona soluzione per i sistemi di cablaggio STP o UTP e impongono regole meno restrittive rispetto a MAU attivi.

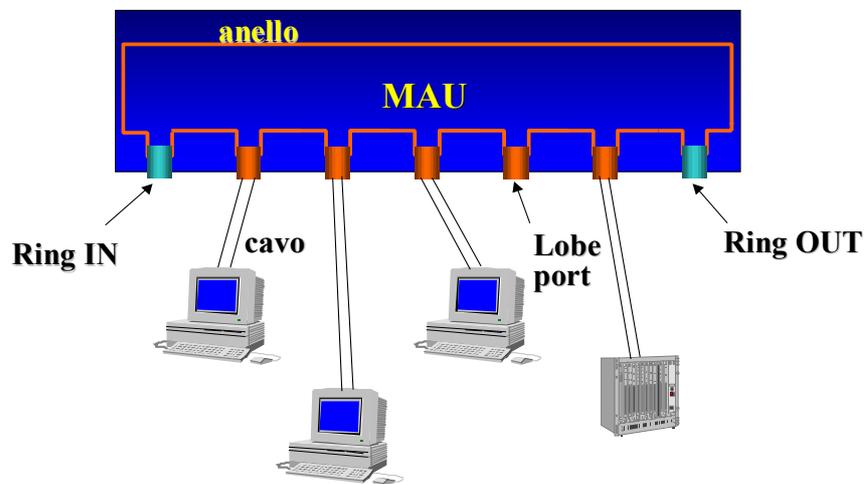


Figura 5.30. Rete token ring con una sola unità MAU.

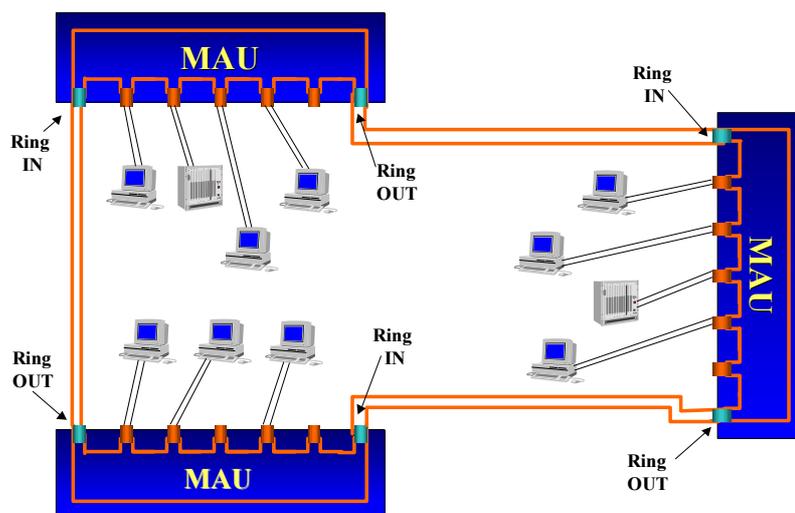


Figura 5.31. Rete token ring realizzata mediante diverse unità MAU.

Cablaggio

Le reti Token Ring possono essere realizzate mediante tre tipi di cavi:

- *Doppino telefonico non schermato (UTP)*. Questa soluzione presenta il vantaggio di utilizzare un cavo a basso costo e grande flessibilità; tuttavia la lunghezza dell'anello è molto limitata. Possono essere utilizzati i cavi UTP di categoria 3, 4 e 5 per 4 Mbit/s e i cavi 4 e 5 per 16 Mbit/s.
- *Doppino telefonico schermato (STP9 "IBM Cabling System")*. Possono essere utilizzati diversi cavi per varie applicazioni.
- *Fibra ottica*.

In una rete token ring è possibile utilizzare nello stesso anello fibra ottica e UTP o STP. Tuttavia, non è possibile utilizzare sullo stesso anello UTS e STP, poiché presentano impedenze e caratteristiche diverse.

FDDI (Fiber Distributed Date Interface)

La rete FDDI è stata progettata agli inizi degli anni '80 con lo scopo di realizzare una rete ad alta velocità (100 Mbit/s) su un'area di notevole estensione (decine di Km). FDDI è stata progettata per utilizzare la fibra ottica, anche se successivamente è stato introdotto l'uso dei doppini telefonici per le connessioni tra le stazioni ed i concentratori. Lo standard FDDI è stato definito da ANSI (American National Standard Institute); questo standard presenta una completa aderenza al modello OSI, di cui adotta la struttura a livelli.

Le principali caratteristiche della rete FDDI sono:

- la velocità di trasmissione è di 100 Mbit/s;
- la topologia della rete è ad anello, ma può essere ricondotta ad una configurazione a stella mediante concentratori attivi;
- la rete FDDI presenta una notevole tolleranza ai guasti ed ha una notevole affidabilità.

La struttura della rete FDDI è composta da due anelli concentrici in fibra ottica, come mostrato nella Figura 5.32. I due anelli trasferiscono l'informazione in senso opposto; tuttavia, in un dato istante solitamente un anello (detto anello primario) è effettivamente utilizzato per la trasmissione dei dati. L'altro anello (o anello secondario) entra in funzione soltanto nel caso di malfunzionamenti o guasti sull'anello o sulle stazioni connesse agli anelli.

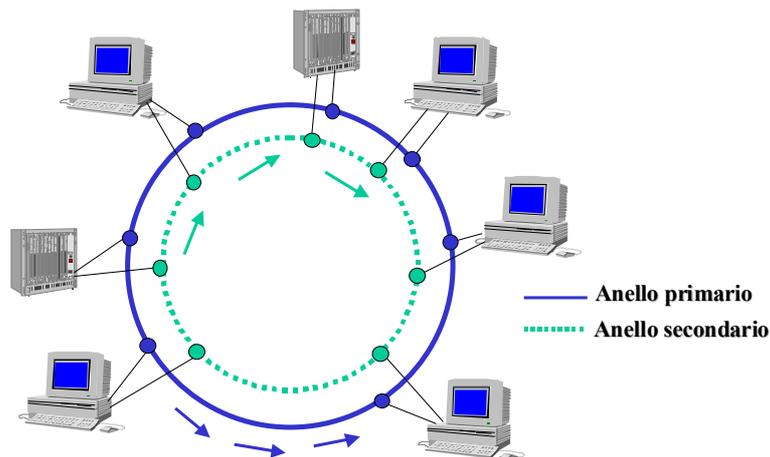


Figura 5.32. La rete FDDI.

I livelli dello standard FDDI

Lo standard FDDI è stato definito in accordo al modello OSI ed in particolare ai primi due livelli OSI, come mostrato nella Figura 5.33. Il livello fisico viene diviso in due sottolivelli:

- **PMD (Physical Medium Dependent Protocol)**, che descrive le specifiche hardware per la connessione delle stazioni alla rete FDDI, i segnali e le caratteristiche degli apparati e dei mezzi trasmissivi.
- **PHY (PHYsical layer protocol)** che definisce la codifica e decodifica dei dati scambiati tra PHY e MAC ed effettua la sincronizzazione dei dati. In particolare la codifica utilizza 25 simboli, ciascuno composto da 5 bit, di cui 16 simboli sono utilizzati per trasmettere 16 simboli esadecimali e 8 simboli sono utilizzati come codici fuori banda. In questo modo i dati e i segnali di temporizzazione possono essere trasmessi insieme.

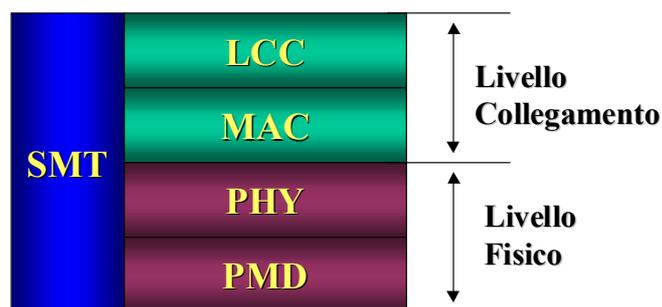


Figura 5.33. Livelli della rete FDDI.

Il livello di collegamento è diviso come per tutte le reti locali nei due sottolivelli:

- **MAC (Medium Access Control)**, che definisce le modalità di accesso delle stazioni della rete.
- **LLC (Logical Link Control)**, che effettua le operazioni di controllo del collegamento. Come per tutte le reti locali, il livello LLC segue lo standard IEEE 802.2.

Il livello MAC nella rete FDDI

La rete FDDI utilizza un metodo di accesso multiplo di tipo token passing, in modo analogo alla rete token ring. I dati sono trasmessi sull'anello in modo seriale come stringhe di simboli, ciascuno di 5 bit, da una stazione all'altra; ogni stazione che riceve un simbolo lo ritrasmette alla stazione successiva.

Il formato del token utilizzato nella rete FDDI è mostrato nella Figura 5.34 e presenta numerose analogie con quello della rete token ring.



Figura 5.34. Formato del token nella rete FDDI.

Il formato di un pacchetto in una rete FDDI è mostrato nella Figura 5.34. La lunghezza del pacchetto è variabile. Descriviamo in dettaglio i diversi campi presenti nel token e nella trama informativa:

- **Preambolo.** Questo campo, composto da 16 simboli è necessario per sincronizzare il clock di una stazione con quello della stazione precedente nell'anello.
- **SD (Start Delimiter).** Questo campo, formato da 2 simboli, serve a delimitare l'inizio del token o di un frame. Per questo esso contiene due bit (bit J e K) che violano il codice di Manchester.
- **FC (Frame Control).** Questo campo formato da due simboli serve a specificare se il pacchetto ricevuto è un token o un frame. Nel caso di un frame informativo, il campo FC specifica se esso è di tipo *sincrono* (voce o video) o *asincrono* (dati) ed in quest'ultimo caso indica se il campo informativo contiene pacchetti di controllo (MAC PDU).
- **DA (Destination Address).** Questo campo, formato da 12 simboli, contiene l'indirizzo MAC della stazione di destinazione.
- **SA (Source Address).** Questo campo, formato da 12 simboli, contiene l'indirizzo MAC della stazione sorgente.
- **Informazione.** Questo campo, con una lunghezza variabile da 0 a 8956 simboli, contiene le informazioni o dati di controllo.
- **FCS (Frame Check Sequence).** Questo campo, composto da 8 simboli, contiene i bit di ridondanza di un codice ciclico per la rivelazione degli errori.
- **ED (End Delimiter).** Questo campo, formato da 2 simboli, identifica la fine del token o del frame. Esso contiene due bit, J e K, che violano il codici di Manchester.
- **FS (Frame Status).** Questo campo formato da 3 o più simboli, fornisce una serie di informazioni per caratterizzare lo stato della trama. In particolare esso contiene almeno tre simboli seguenti che servono a caratterizzare tale stato:
 - Bit error detected indicator, che indica che il pacchetto è errato. Questo bit è generalmente uguale a 0; una qualunque stazione che rilevi in errore la trama cambia il valore del bit.
 - Address recognized indicator, che viene impostato dalla stazione che riconosce il proprio indirizzo nel campo DA.

- Frame copied indicator, che viene impostato dalla stazione che ha copiato il pacchetto.

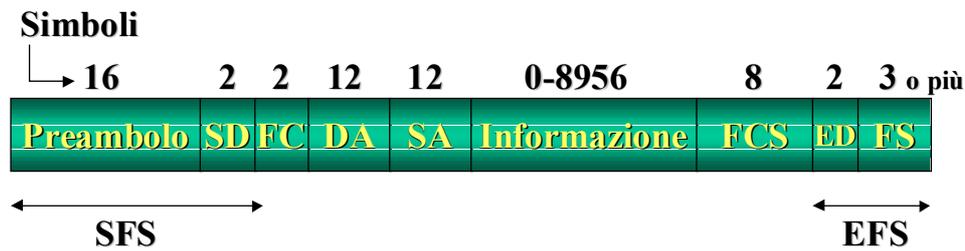


Figura 5.35. Formato del pacchetto FDDI.

Servizio sincrono e asincrono

Il servizio di trasmissione sincrono utile per la trasmissione di segnali in tempo reale quali la voce e il video, prevede la trasmissione di pacchetti di lunghezza fissa ad intervalli regolari, assicurando una banda minima alle stazioni che devono trasmettere questo tipo di traffico.

Il servizio di trasmissione asincrono è generalmente utilizzato per la trasmissione dati. Il servizio di trasmissione sincrono è prioritario rispetto a quello asincrono. Infatti quando una stazione cattura il token trasmette per prima le trame sincrone e successivamente, se ha a disposizione un tempo sufficiente, provvede a trasmettere il traffico asincrono.

Riconfigurazione di una rete FDDI

La rete FDDI utilizza in condizioni di funzionamento normale soltanto l'anello primario (Figura 5.36.a), mentre l'altro anello rimane in condizioni di riposo. Quando si verifica un guasto o un malfunzionamento (linea interrotta o stazione guasta), le stazioni DAS o DAC adiacenti al punto in cui si è verificato tale guasto rivelano questo inconveniente e provvedono attraverso uno switch interno che collega tra loro i due anelli, formando un unico anello che esclude la stazione o il punto di guasto, come mostrato nella Figura 5.36. b.

La riconfigurazione della rete può avvenire anche a causa di guasti multipli, creando anelli separati. Nella Figura 5.36.c. è mostrato il caso dei due guasti: la rete FDDI viene suddivisa a causa del processo di riconfigurazione in tre anelli separati. In questo modo la rete continua ad operare in modo parziale.

Una volta che guasti o malfunzionamenti sono stati riparati, la rete effettua in modo automatico una riconfigurazione e l'anello ritorna ad operare in modo normale.

Tipi di cavo

Indipendentemente dal cavo utilizzato una rete FDDI non può avere una dimensione superiore a 200 Km, ma è fortemente consigliato di mantenere la lunghezza dell'anello inferiore a 100 Km.

A seconda del tipo di cavo utilizzato sono stati definite diverse configurazioni e parametri per la rete FDDI. In particolare sono attualmente definiti i seguenti quattro standard.

Fibra ottica multimodale

La fibra ottica multimodale è molto utilizzata per realizzare la rete FDDI. Sono stati definiti due standard. Lo Standard ANSI X3.166 e ISO/IEC 9314.3 è stato il primo ad essere stato emanato e rappresenta anche quello più noto. Esso utilizza fibre ottiche multimodali 6L/125 μm e LED in seconda finestra. La massima distanza tra due stazioni FDDI può essere al massimo 2 Km. Lo standard ANSI X3.237 prevede una fibra ottica multimodale 62.5/125 μm e LED in seconda finestra, come il precedente, ma utilizza componenti meno costosi. Per questo la distanza massima tra due stazioni FDDI è 500 m.

Fibra ottica monomodale

Questo standard, noto come ANSI X3.184, utilizza una fibra ottica monomodale 8.2/125 μm e LESEG in seconda finestra. La distanza massima è 10 Km.

Doppino telefonico

Questo tipo di cavo viene utilizzato per collegare stazioni SAS al concentratore DAC. Il doppino telefonico può essere di tipo UTP e STP:

- Doppino telefonico UTP. Il cavo deve essere di categoria 5 e la massima distanza tra stazione e concentratore è 100 m.
- Doppino telefonico STP. Il cavo deve essere di tipo IBM. La massima distanza tra stazione e concentratore è 100 m.

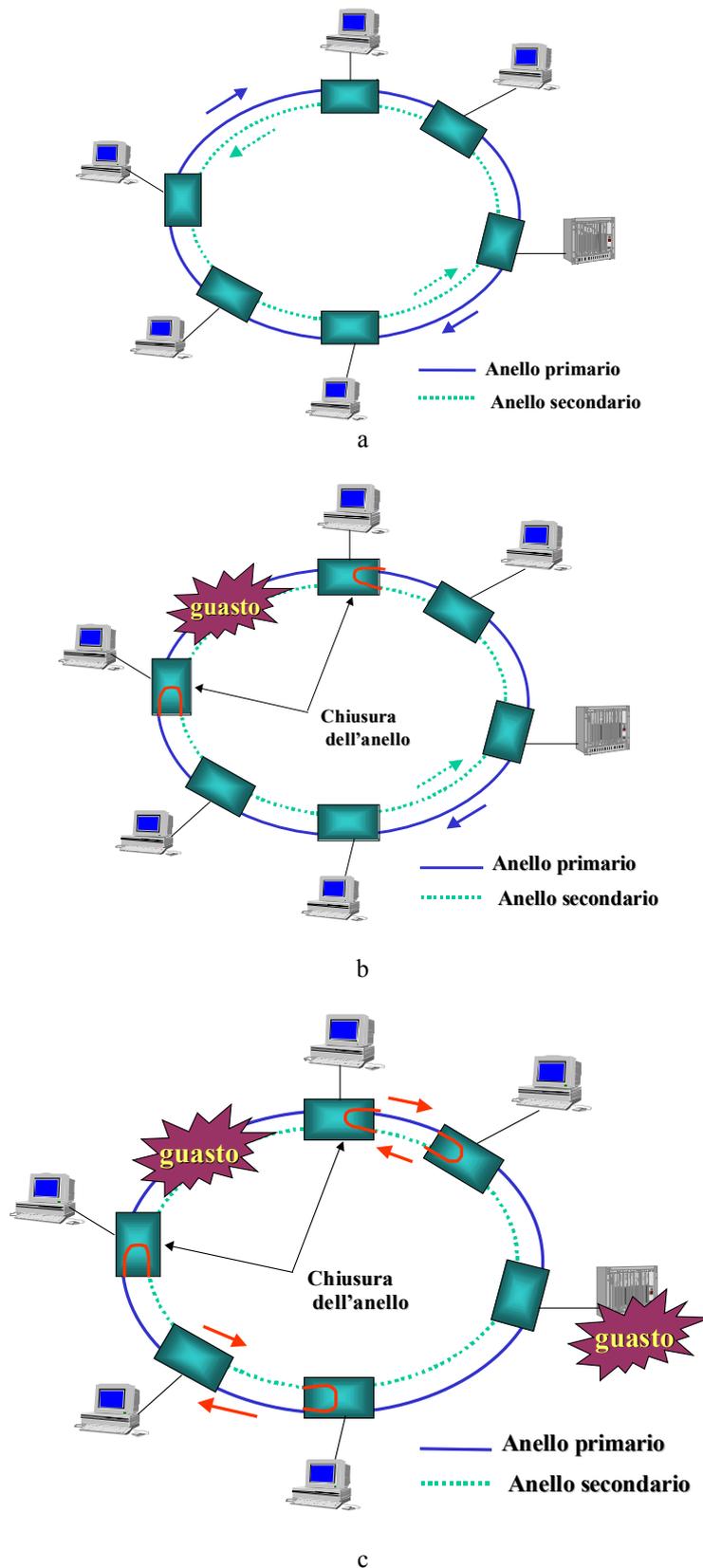


Figura 5.36. Riconfigurazione di una rete FDDI a causa di guasti: a) funzionamento normale; b) riconfigurazione a causa di un guasto; c) riconfigurazione a causa di due guasti.