



UNIVERSITÀ
DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE ED INFORMATICHE
Corso di Laurea in Informatica

Il Livello Data-Link

Parte II : Ethernet

RETI DI CALCOLATORI - a.a. 2023/2024

Roberto Alfieri

Il Livello Data-Link: sommario

PARTE I

- ▶ Scopi del livello Data-Link
- ▶ Framing, Rilevazione e correzione degli errori, controllo di flusso
- ▶ Protocolli per reti Punto-punto: PPP.
- ▶ Protocolli per reti MultiAccesso: Aloha, CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

PARTE II

- ▶ Gli standard IEEE802
- ▶ Ethernet: Sottoliv. MAC e LLC, tecnologie Ethernet, il Frame, Repeater, Switch, Bridge
- ▶ Spanning Tree Protocol.
- ▶ Lan Virtuali

PARTE III

- ▶ Lan Wireless

RIFERIMENTI

- ▶ *Reti di Calcolatori*, A. Tanenbaum, ed. Pearson
- ▶ *Reti di calcolatori e Internet*, Forouzan , Ed. McGraw-Hill

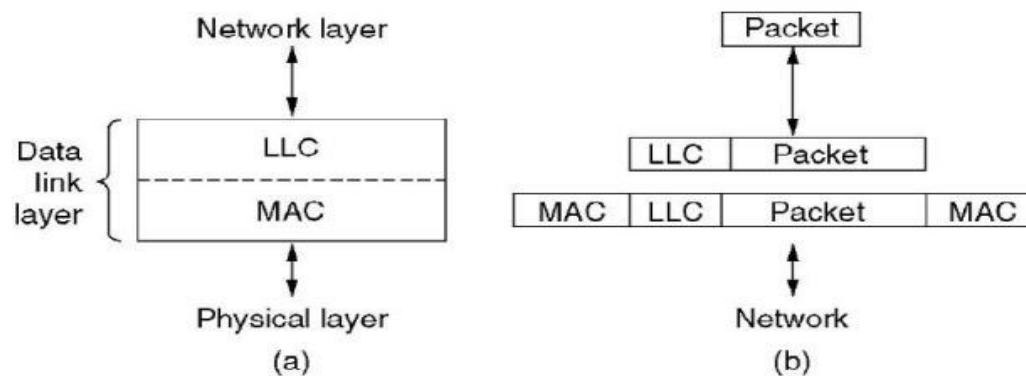
Standard IEEE 802

Molte delle architetture per reti locali, personali e metropolitane sono state standardizzate sotto il nome di IEEE 802.

[IEEE](#) (Institute of Electrical and Electronics Engineers) è una grande organizzazione professionale con scopo di ricerche e applicazioni in vari campi ingegneristici tra cui l'elettronica e l'informatica. Una delle attività è la definizione di Standard in questi campi.

Il numero "802" è il primo numero libero negli standard IEEE al momento della formazione del comitato, creato nel 1980 per la standardizzazione delle reti locali.

IEEE 802 separa le funzionalità del livello Data-Link in 2 sottolivelli distinti: LLC e MAC.



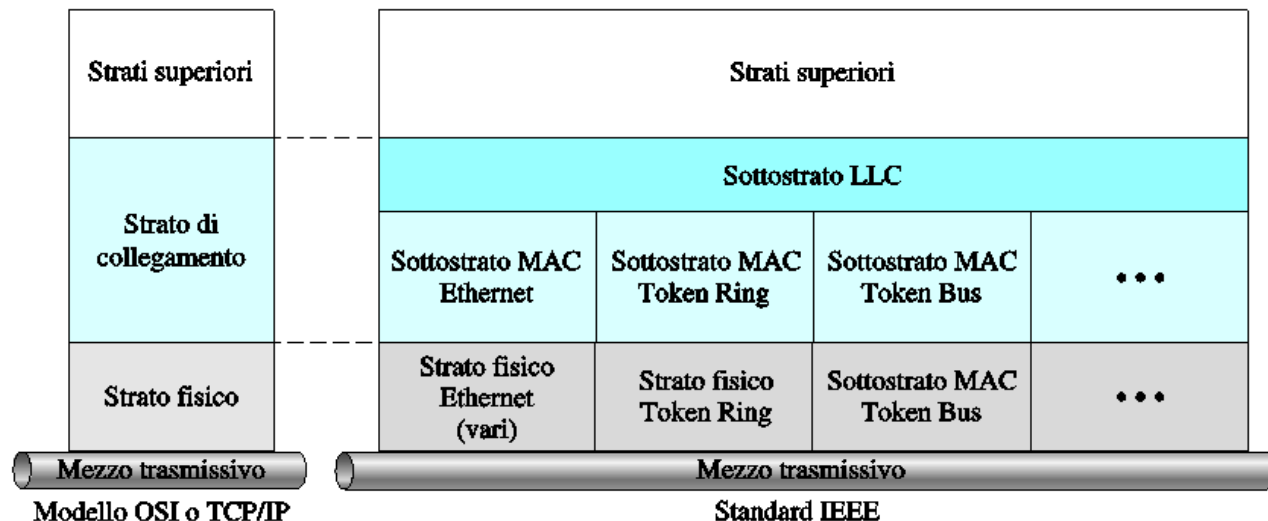
Sottolivelli MAC e LLC

Il sottolivello **MAC** (Medium Access Control) gestisce l'accesso al mezzo mediante diversi possibili protocolli di Accesso Multiplo quali ad esempio:

802.3 (Ethernet), 802.5 (Token Ring), 802.11 (LAN Wireless) 802.15 (Bluetooth), 802.16 (WiMax), ecc

Il sottolivello **LLC** (Logical Link Control, 802.2) è **opzionale** e aggiunge una intestazione contenente la codifica del protocollo che ha generato il frame e a cui è destinato, il numero di sequenza e Acknowledge (Ack), consentendo di operare in 3 modalità:

- datagramma inaffidabile,
- datagramma con Ack ,
- servizio affidabile orientato alle connessioni.



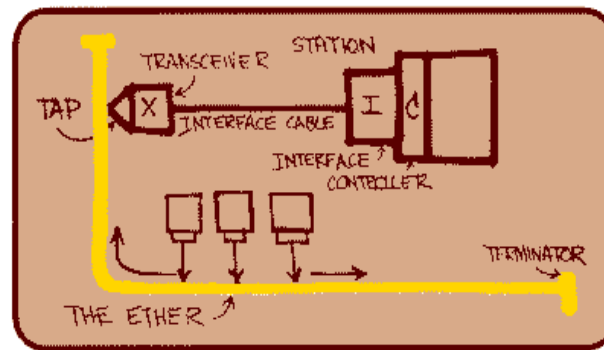
Media Access Control: Ethernet

Tecnologia dominante per le LAN.

Ideata a metà degli anni 70 da Bob Metcalfe (dottorando di Harvard) partendo dal lavoro di Abramson (AlohaNet). Quando Metcalfe viene assunto da Xerox progetta e costruisce la prima rete locale, chiamata Ethernet. Nel 1978 Xerox, assieme a DEC e Intel, mise a punto uno standard per la versione a 10Mbps.

Un segmento Ethernet si realizza con un cavo coassiale di lunghezza fino a 500 mt, un cavo simile a quello usato per la TV ma con una impedenza di 50 Ohm anziché 75.

I **terminatori** connessi alla fine del segmento assorbono il segnale e impediscono che rimbalzi e interferisca con altri segnali.



Ethernet/IEEE802.3

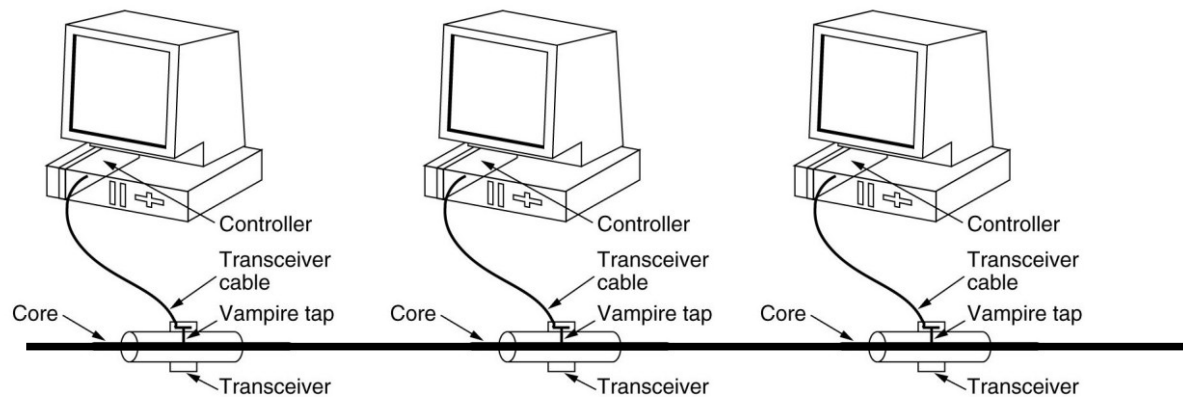
Nella versione Ethernet 2.0 (1980) la velocità era di 10Mb/s su cavo coassiale.

Nel 1983, con piccole modifiche, Ethernet venne recepita da IEEE con il nome di 802.3.

Servizio di invio di **Frame senza connessione e senza riscontro.**

Il servizio è **inaffidabile (Best effort)** : non dà alcuna garanzia dell'effettiva consegna dei dati né tantomeno livelli di qualità o priorità garantiti. Se il ricevente rivela un errore di trasmissione scarta il pacchetto.

Eventuali servizi di connessione e ritrasmissione sono demandati ai livelli superiori. Questo rende Ethernet più snello e veloce.



Ethernet/IEEE802.3: il protocollo

Protocollo di accesso al mezzo:

CSMA/CD 1-persistente con algoritmo di Backoff esponenziale binario

1) se il canale è libero trasmette il Frame

1.1) Mentre trasmette ascolta il canale; se durante la trasmissione non rivela segnali diversi considera il Frame spedito.

1.2) Se durante la trasmissione rivela segnali diversi arresta immediatamente la trasmissione e invia un breve segnale di disturbo (jamming sequence) di 32 bit, quindi entra nella fase di attesa esponenziale prima di riprovare (random tra 2-1 slots dopo i collisioni)

Vengono inviati almeno 96 bit: 64 di preambolo + 32 di disturbo. Il tempo di 96 bit rappresenta il tempo minimo di attesa tra un due Frame (InterFrame Gap – IFG).

1.3) Dopo 10 collisioni l'intervallo rimane congelato ($2^{10}-1 = 1023$ slots)

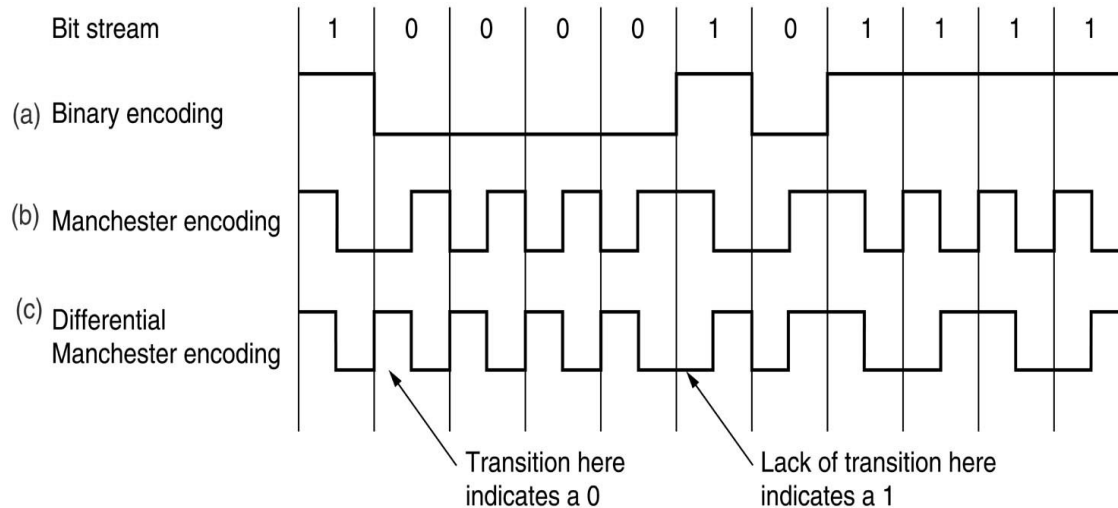
1.4) Dopo 16 collisioni il controller rinuncia e segnala un errore.

2) se il canale è occupato aspetta fino a quando la linea diventa inattiva poi trasmette Immediatamente (1-persistente)

Ethernet: codifica Manchester

Codifica **Manchester** (usata da 802.3 - Ethernet) opera in banda Base del livello fisico. Occupa una banda doppia rispetto alla codifica binaria (per avere 10Mb/s occorre una clock a 20Mb/s)

Transizione alto-basso=1, transizione basso alto =0. Alto = 0.85V, Basso=-0.85V



La codifica **Manchester Differenziale** (usata da 802.5 – Token Ring) è più complessa da realizzare ma offre una maggiore immunità al rumore.

Ethernet: Formato del Frame

Il campo **Preambolo** contiene 7 (o 8) sequenze 10101010 ovvero un'onda quadra di circa 5 ms che consente al ricevitore di sincronizzarsi.

SoF (Start of Frame) indica l'inizio di un Frame. Contiene la 10101011; gli ultimi 2 bit a 1 indicano che il prossimo bit sarà il primo del Frame.

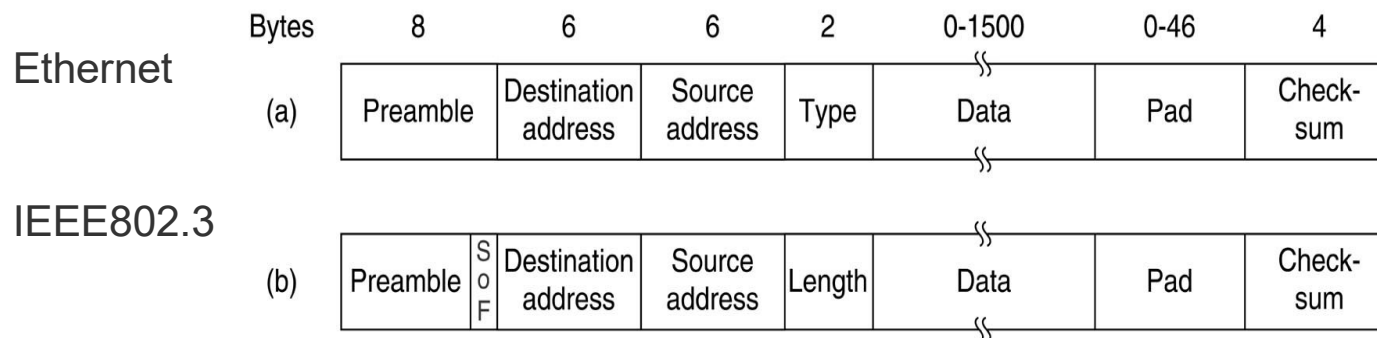
Il campo **Type/Length** contiene il codice del protocollo di livello superiore che ha generato il Frame. Nello standard IEEE802.3 il campo Type è sostituito dal campo Length (numero di byte del campo DATA). I 2 Standard possono convivere.

Ad esempio: 0000-05DC=DataLength 0800=IP 0806=ARP 809B=AppleTalk
Per il formato degli indirizzi (**Dest. Add. e Source add.**) vedi slide successiva.

Il campo **DATA** contiene le PDU dei livelli superiori.

Il campo **FCS** contiene il valore di CRC-32 (Cyclic Redundance Code).

Il marcatore di fine Frame manca e, tale ruolo, è assunto dall'Inter Frame Gap (IFG) il cui valore minimo è di 96 bit (10Mbps->9.6us 100Mbps->960ns 1Gbps->96ns).



Indirizzi Ethernet

Gli indirizzi Ethernet sono di 6 byte ($2^48 = 281.474.976.710.656$ possibili indirizzi)

- ▶ Esempio: 08 00 20 00 70 DF

L'indirizzo viene scritto nel firmware del controller di rete dal produttore ed è unico
I primi 3 byte identificano il Vendor.

- ▶ Ad esempio: 00000C=Cisco 00AA00=Intel 08005A=IBM 080020=SUN ecc
- ▶ Per una lista completa: <http://standards-oui.ieee.org/oui/oui.txt>

Negli indirizzi **Unicast** il primo byte è pari (LSB=0)

Negli indirizzi **Multicast** il primo byte è dispari (LSB=1)

- ▶ Ad esempio: 01:80:C2:00:00:00 è l'indirizzo multicast per l'algoritmo STP

L'indirizzo di **Broadcast** è ff-ff-ff-ff-ff-ff

Un adattatore Ethernet accetta i pacchetti nei seguenti casi:

- ▶ Tutti i Frame **Broadcast**
- ▶ I frame **Unicast** indirizzati all'interfaccia
- ▶ I frame di un particolare indirizzo **Multicast** se l'interfaccia è stata configurata opportunamente
- ▶ Tutti i Frame se l'interfaccia è configurata in modo **promiscuo**

Ethernet: Dimensione del Frame e slot time

La **massima dimensione** di dati trasportabili da un servizio Data-Link è detta **MTU** (Maximum Transfer Unit). L'MTU di Ethernet è 1500 Byte.

La **minima dimensione** di un frame è di 64 byte (46 payload + 18 header) = 512 bit

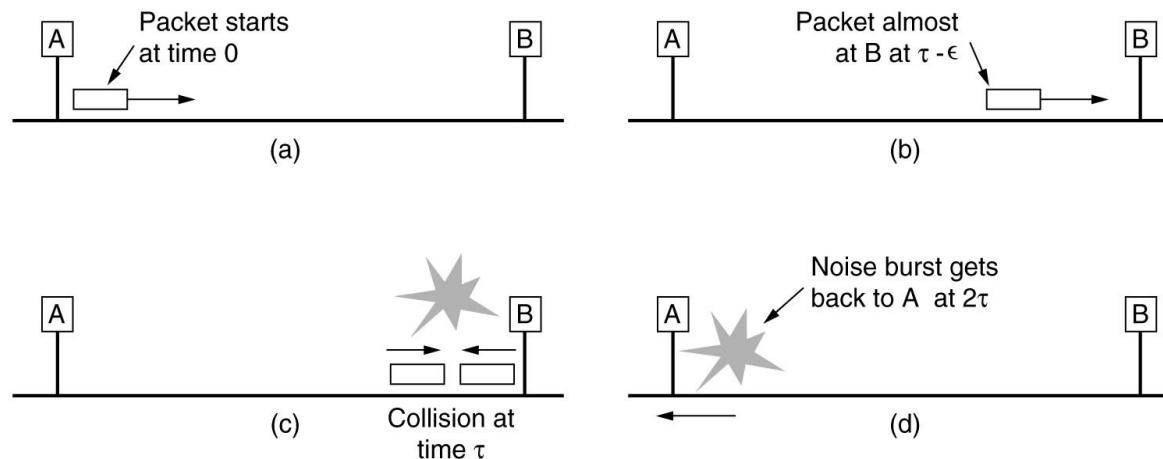
A 10 Mbps: 1 bit dura $1/10\text{Mbps} = 100\text{ns}$ e misura $100\text{ns} \times 2 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 20 \text{ metri}$

Per 512 bit (frame minimo) abbiamo $L=10\text{Km}$

La **durata minima** di un frame è quindi di $t=51.2 \mu\text{s}$, che rappresenta lo **Slot Time**

Questo è anche il tempo utile per rilevare una collisione, per cui in questo tempo il Frame deve avere percorso in andata e ritorno l'intera rete.

La lunghezza massima teorica della rete deve essere al più la metà del Frame più piccolo, ovvero circa 5Km. Nella realtà occorre tener conto dell'attraversamento di eventuali apparati di rete (repeater, switch, ..) che rallentano il viaggio del Frame e quindi riducono la dimensione massima della rete, che viene stabilita in 2500 metri.



Evoluzione dello standard: Ethernet

Tecnologia in evoluzione retro-compatibile:

1980: Ethernet

Digital Intel e Xerox rilasciano le specifiche di Ethernet 2.0 che rappresenta lo standard “De Facto” per le reti locali. Topologia a Bus su cavo coassiale a 10Mb/s

Non ha bisogno di apparati di rete, ma è impossibile la gestione centralizzata.

1983: IEEE802.3

Ethernet diventa un standard “Ufficiale” con il nome di IEEE802.3

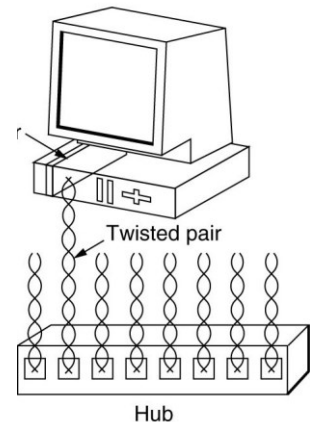
10Base-T utilizza la codifica Manchester con un clock a 20MHz su doppino (cat 3 o 5)

Si usano 2 doppini per avere una connessione **full duplex**.

La connessione full-duplex raddoppia la capacità trasmissiva (20Mbps)

Il doppino è un canale punto-punto, quindi è necessaria una topologia a stella con un apparato concentratore (HUB).

Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings



Evoluzione dello standard: Fast Ethernet

1995: IEEE802.3u (100 Mb/s - Fast Ethernet)

Stesso formato di pacchetto, interfacce e regole di 10baseT, ma 10 volte più veloce:

Un bit a 100Mb/s : $t = 1/100M = 10^{-8} \text{ s} = 10 \mu\text{s}$ $l = 2 \times 10^8 \times 10^{-8} = 2 \text{ m}$

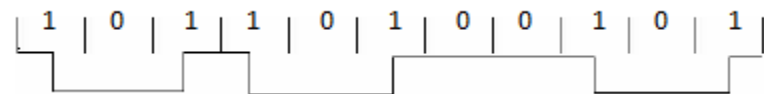
Varianti:

100BaseT4 usa un clock di 25MHz (rispetto ai 20MHz di Ethernet) con codifica 8B/6T (8bit con sequenze di 6 simboli a 3 stati) utilizzando 4 coppie di doppino di cat. 3.

100BaseTX: utilizza la codifica NRZ-I (ogni 1 comporta una transizione) di tipo [4B/5B](#), garantendo almeno una transizione per gruppo. Per avere 100Mb/s occorre un clock di 125MHz, che è supportato dal doppino di cat.5.

100baseFX: 2 fibre multimodo 62.5/125 - Max 2Km

Anche in questo caso si utilizza NRZ-I con la codifica 4B/5B



Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps (Cat 5 UTP)
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

Evoluzione dello standard: Gigabit Ethernet

1999: IEEE802.3z - 1 Gbps

Standard:

Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 μ) or multimode (50, 62.5 μ)
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

1000baseCX Poiché il frame minimo (di 64 byte) può essere trasmesso 100 volte più velocemente rispetto a Ethernet standard la massima distanza con CSMA/CD diventerebbe 25metri (praticamente inutilizzato)

Esistono 7 standard per trasmissione su fibra, tra cui:

- ▶ **1000baseSX** fibra ottica multi-modale (fino a 550 metri)
- ▶ **1000baseLX** fibra ottica mono-modale (fino a 5Km)
- ▶ **1000baseBX10** singola fibra ottica mono-modale con 2 differenti portanti nelle 2 direzioni (fino a 10Km)

1000baseT usa doppiino almeno di cat 5 (max 100mt)

Si usano tutte le 4 coppie. Ogni coppia trasporta 250Mbps. Il baud-rate è ancora 125Mbaud (come Fast Ethernet), ma la codifica PAM5 (modulazione di una ampiezza di una portante, usa 5 simboli con 2 bit per baud).

Nella modalità full duplex abbiamo 500Mbps per direzione, mentre nella modalità half duplex si può arrivare a 1 Gbps.

Gigabit Ethernet full duplex e half duplex

Modalità FullDuplex (modalità normale)

tutte le configurazioni Gigabit Ethernet sono Punto-Punto abbandonando il sistema MultiAccesso di Ethernet originale. Utilizza solo Ethernet Switch, che bufferizzano i frame in modo da eliminare le collisioni e il conseguente limite sulla durata minima del pacchetto.

La lunghezza massima del cavo è determinata dall'attenuazione del segnale.

Modalità HalfDuplex

Usato solo per mantenere la compatibilità con il protocollo CSMA/CD delle precedenti versioni.

Per risolvere il problema del rilevamento della collisione vengono introdotte 2 estensioni:

Carrier extension: Consente di aumentare il Padding, portando il Frame minimo a 512 byte (4096 bit, 4.1 μ sec)

Frame Bursting: Consente di aggregare più Frame in spedizione, in modo da raggiungere 512 byte (max 64Kbit)

Nota: Per ridurre l'overhead alcuni vendor supportano i “**Jumbo frame**” consentendo un MTU di 9 KB, ma questo non è parte dello standard IEEE.

Evoluzione dello standard: 10GbE

Standard rilasciato nel 2005 per fibra ottica (IEEE 802.3-2005); successivamente esteso al doppino (emendamento IEEE-802.3an).

E' solo switched full duplex quindi **CDMA/CD non è utilizzato**.

Codifica: si applica 64B/66B (per evitare lunghe sequenze di zeri o uni)

Cablaggio:

Fibra multi-modo 10GnbaseSR (300m)

Fibra mono-modo 10GbaseLR (10Km) - 10GbaseER (40Km)

Doppino cat. 6A 10GbaseT (100m)

Le comunicazioni Ethernet a 10Gb/s sono state impiegate fino al 2009 praticamente solo per comunicazioni fra apparati di rete di backbone in quanto per poter alimentare un'interfaccia a 10Gb/s è necessario un bus di sistema sufficientemente veloce.

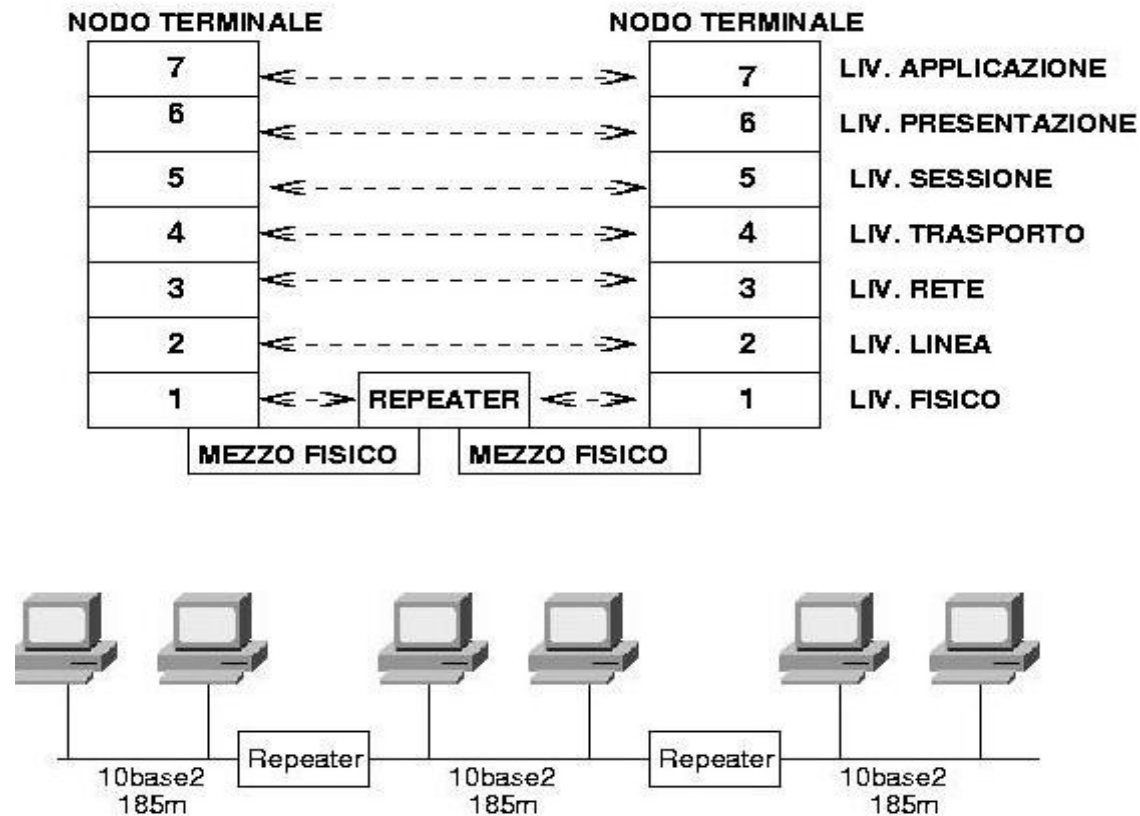
Riferimenti: http://it.wikipedia.org/wiki/10_gigabit_Ethernet

Ethernet Repeater

Il Repeater è un nodo di Transito che agisce a livello Fisico connettendo 2 o più segmenti Ethernet.

I bit ricevuti da una interfaccia vengono rigenerati e replicati sulle altre.

Ethernet stabilisce un massimo di 4 Repeater in una rete e una distanza max di 2.5 Km.

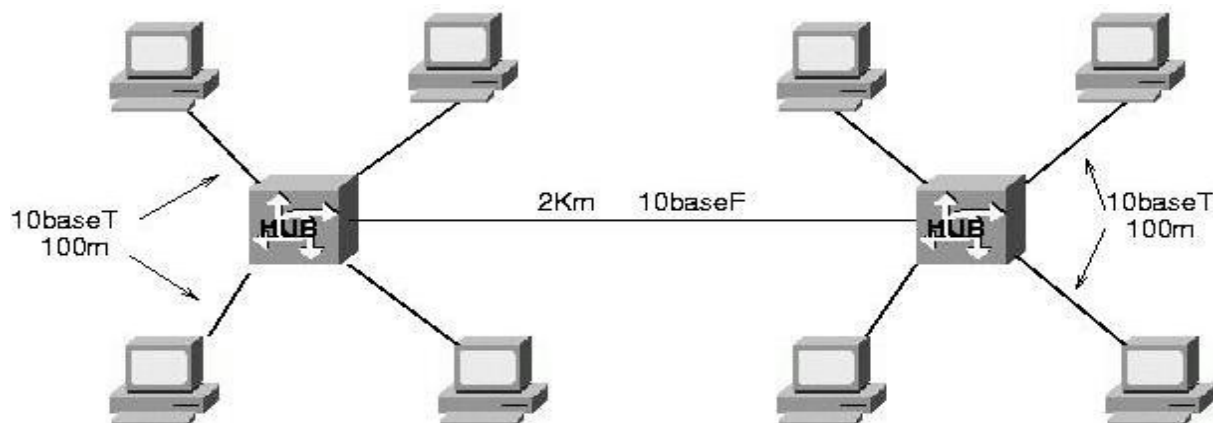


Ethernet Hub

Un Hub è un repeater con più di 2 interfacce Ethernet.

L'Hub consente di realizzare una rete Broadcast utilizzando canali punto-punto.

L'Hub estende sia il **Dominio di Collisione** che il **dominio di broadcast**.

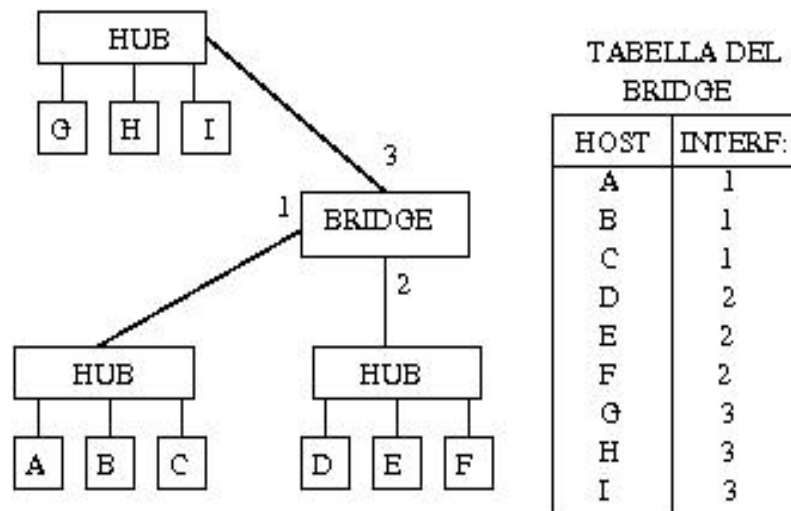


Commutazione nel livello data-link: il Bridge

Filtering: A differenza dell'HUB ritrasmette solamente i pacchetti che devono effettivamente transitare da una LAN ad un'altra e i broadcast.

In questo modo vengono separati i domini di collisione ma non il dominio di broadcast.

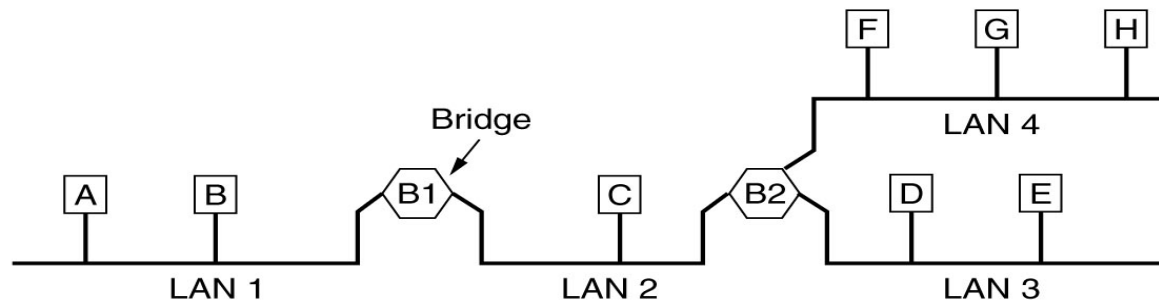
L'instradamento (forwarding) avviene in base a una **Tabella del Bridge** in cui sono indicati gli indirizzi MAC dietro ad ogni Interfaccia.



Bridge: autoapprendimento

La tabella del Bridge è costruita automaticamente in modo autonomo:

- 1) All'accensione del Bridge la Tabella è vuota.
- 2) Quando arriva un frame, l'indirizzo di mittente viene scritto nella tabella, associato all'interfaccia di provenienza e al tempo attuale. Se l'indirizzo di destinazione non è presente in tabella il frame viene inoltrato su tutte le interfacce tranne quella di provenienza (**flooding**), altrimenti viene inoltrata sulla sola interfaccia indicata in tabella.
- 3) Il Bridge cancella un indirizzo dalla Tabella se per un certo periodo di tempo (**tempo di invecchiamento**) non riceve alcun Frame con quell'indirizzo di provenienza.

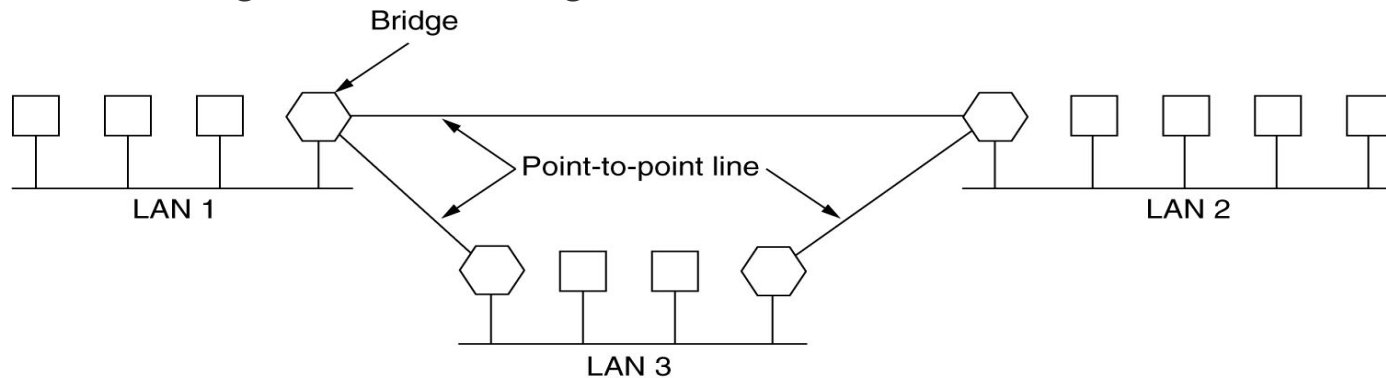


Bridge remoti

I bridge sono comunemente utilizzati per collegare 2 o più LAN distinte.

Se le LAN sono remote (in diverse edifici o diverse città) i Bridge vengono collegati mediante linee punto-punto su cui possiamo utilizzare protocolli punto-punto (come PPP) e incapsulare al suo interno il frame MAC, oppure possiamo usare la linea punto-punto direttamente con protocollo MAC.

In ogni caso il Bridge non cambia gli indirizzi fisici del frame.



Ogni LAN ha un proprio formato dei frame (es. Ethernet e Wifi nei router ADSL)

- Se l'MTU della LAN di destinazione è troppo piccolo i bridge devono eliminare il frame (la frammentazione è prevista solo a livello rete).

- Sicurezza: Se la LAN di provenienza è cifrata (es WiFi) il bridge deve essere in grado di decifrare prima di inoltrare.

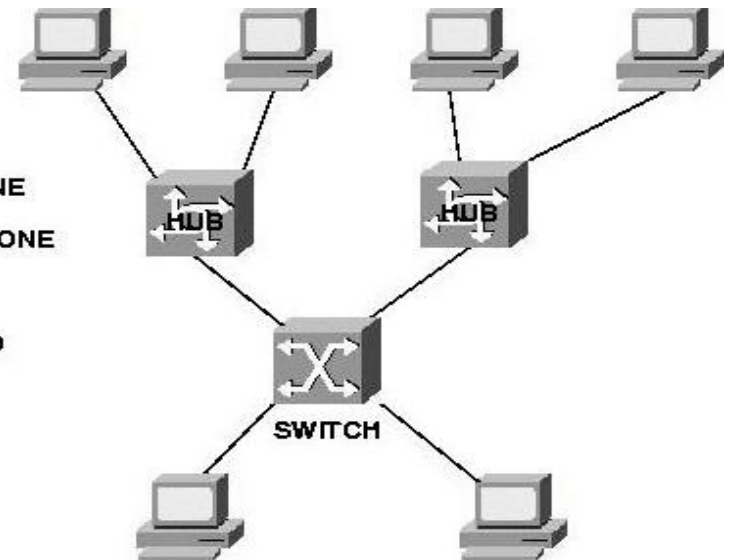
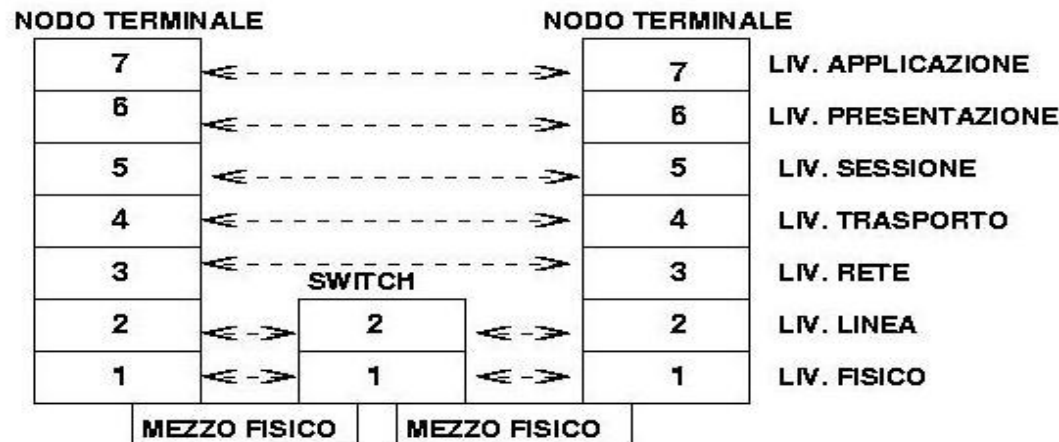
Ethernet commutata: gli Switch

E' un commutatore di Frame a livello 2: i Frame che riceve vengono smistati solo sull'interfaccia dove è attestato il destinatario.

Sono sostanzialmente dei Bridge ad alte prestazioni con interfacce multiple.

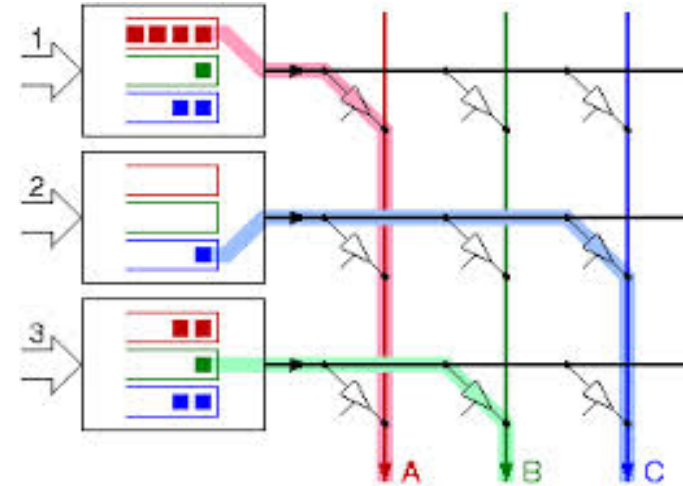
Vantaggi:

- ▶ **Aumento del Throughput** sotto carico. Uno Switch a N porte può essere attraversato contemporaneamente da N/2 connessioni.
- ▶ Ogni connessione può essere **Full-Duplex** (raddoppio del Throughput)
- ▶ **Security**: Sull'interfaccia di un terminale non transitano Frame di altre connessioni.
- ▶ I segmenti diventano domini di collisione separati o **privi di collisioni** (Switch-PC).



Tecnologie Switch

Gli Switch hanno una tabella interna con le associazioni MAC-Interfaccia.
Costruisce la tabella leggendo gli indirizzi dai Frame che lo attraversano.
Se il mittente di un Frame non è in tabella viene inserito.
Se il destinatario non è in tabella o è broadcast (ff-ff-ff-ff-ff-ff) il Frame viene inviato a tutti (flooding).
La commutazione è realizzata da dispositivi Hardware (Crossbar Switch)



Esistono 2 tipi di Switch:

► Store-and-forward

Il Frame viene ricevuto interamente in un buffer, viene verificato il CRC, poi ritrasmesso se la linea di uscita è libera (vedi immagine).

Assenza di collisioni. Latenze dovute a processamento del frame e dall'accodamento
Consente l'utilizzo di velocità eterogenee (autosensing 10baseT/100baseTX/1000baseT)

► Cut-Through

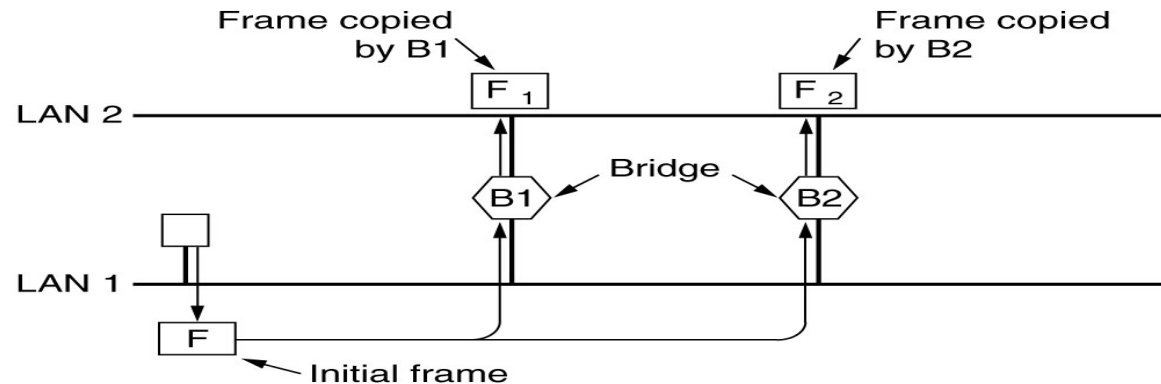
L'indirizzo di destinazione viene analizzato mentre il Frame sta entrando nello Switch.
Il Frame viene instradato sull'interfaccia di uscita senza bufferizzazione, dopo che sono stati letti i primi 14 byte (circa 25 us per Ethernet e 7 us per Fast Ethernet). Tempi di latenza bassi, ma vengono inoltrati anche Frame corrotti e si estende il dominio di collisione.

Spanning Tree

In una LAN composta da Bridge/Switch possiamo avere una topologia magliata per 2 possibili motivi:

- ▶ Progetto di ridondanza, per garantire percorsi alternativi in caso di guasti
- ▶ Errore di configurazione.

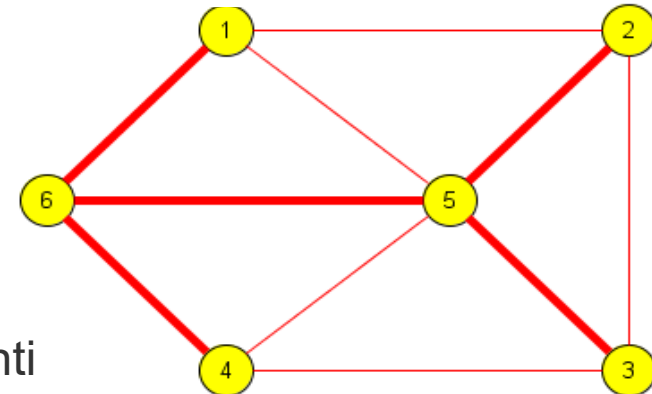
La presenza di anello nella rete potrebbe però portare a situazioni in cui i frame circolano all'infinito:



Si tratta quindi di rendere aciclico un grafo connesso con archi pesati non orientati, isolando in modo opportuno alcuni archi.

Il metodo utilizzato nelle LAN consiste nel determinare un albero ricoprente (**Spanning Tree**) sopra il grafo.

L'algoritmo che determina l'albero e isola gli archi eccedenti nelle LAN è detto **Spanning Tree Protocol (STP)**.



Bridge con Spanning Tree Protocol

Funzionalità:

- ▶ Deve intervenire nel più breve tempo possibile
- ▶ Deve introdurre un overhead limitato
- ▶ Deve essere flessibile, cioè deve poter ammettere che un bridge venga aggiunto successivamente a rete configurata senza che sia indispensabile riconfigurare tutta la rete.

L'algoritmo distribuito STP è stato proposto da Perlmán nel 2000 ed è stato standardizzato con il nome **IEEE802.1D**

Il protocollo si basa sullo scambio di frame (detti BPDU- Bridge Protocol Data Unit) tra i bridge del dominio di broadcast utilizzando l'indirizzo multicast **01:80:C2:00:00:00**.

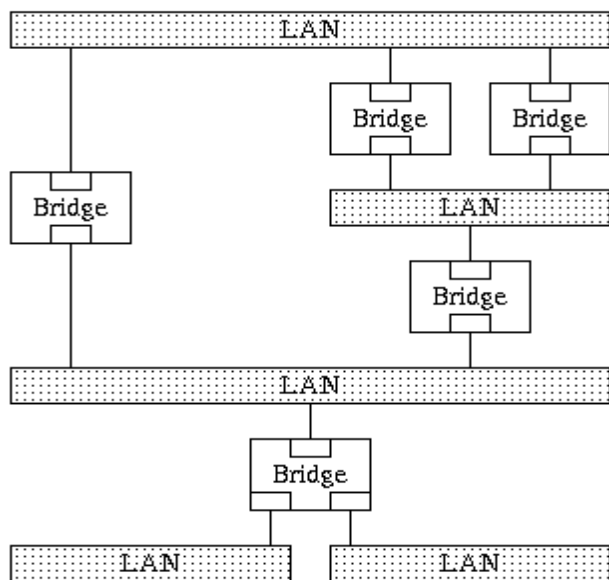
Ci sono 3 tipi di BPDU:

- **Configuration** BPDU, usati per il calcolo la configurazione del protocollo
- **Topology Change Notification** e **Topology Change Notification Ack** usati per annunciare un cambiamento della topologia

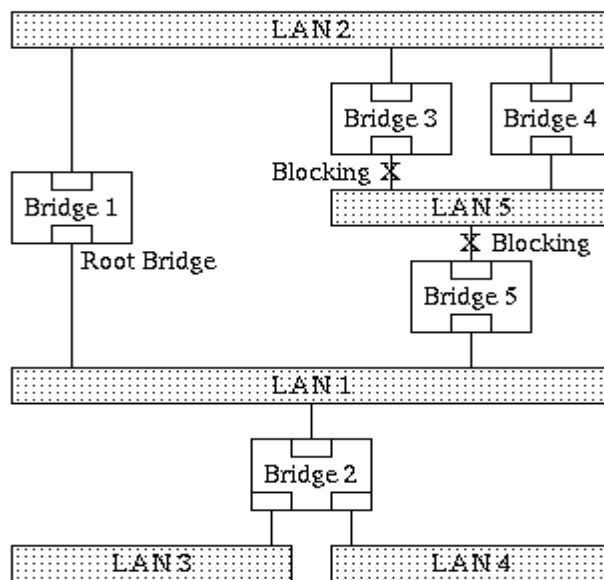
Spanning Tree Protocol: l'algoritmo

L'algoritmo opera nei seguenti passi:

- 1) elezione del **Root-Bridge**: ogni bridge ha un proprio identificativo (ID) che spedisce in multicast in modo che tutti i bridge sappiano chi è il bridge con l'ID più piccolo. Questo bridge diventa la radice dell'albero.
- 2) selezione della **Root-Port**: per ogni bridge si seleziona la porta più conveniente per interconnetterlo al root
- 3) selezione del **Designated-Bridge**: per ogni LAN si sceglie quale bridge è designato ad interconnetterla con il root; la porta utilizzata è la **Designated-Port**. Al termine di queste azioni, lo spanning procede alla messa in **Stato di Blocking** per tutte le porte che non sono Root-Port o Designated-Port.



BLAN Magliata



Topologia attiva ad albero

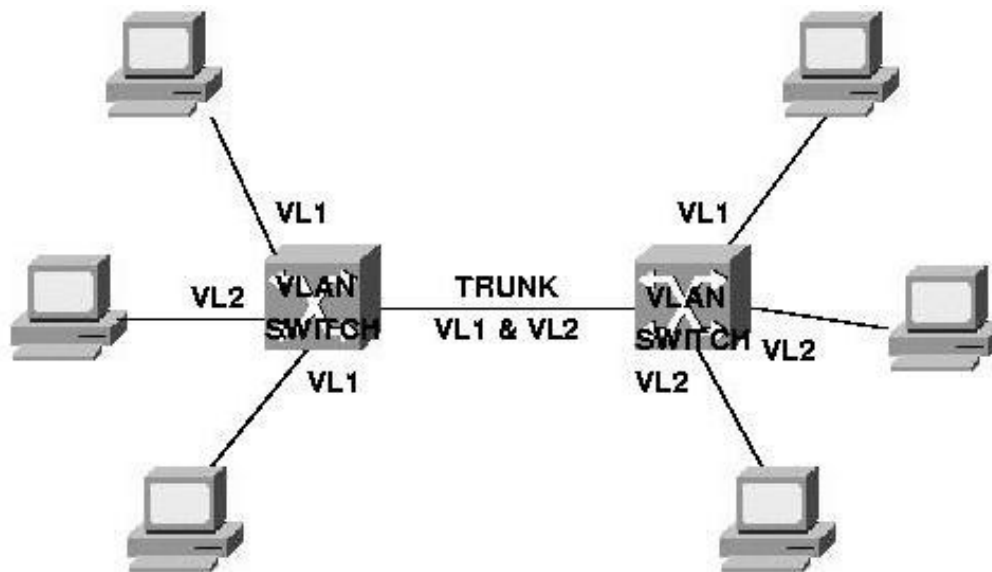
LAN VIRTUALI (VLAN)

Sfruttano la capacità di inoltrare intelligente da parte degli Switch.

Permettono di costruire su un'unica infrastruttura fisica più LAN logicamente separate.

Vantaggi:

- ▶ **Limitano il traffico di Broadcast** all'interno della singola VLAN.
- ▶ Permettono la **progettazione logica** della rete indipendentemente dalla dislocazione fisica delle Stazioni.
- ▶ Aumentano il livello di **sicurezza** della rete confinando il traffico interno di ogni VLAN alle sole stazioni appartenenti ad essa.



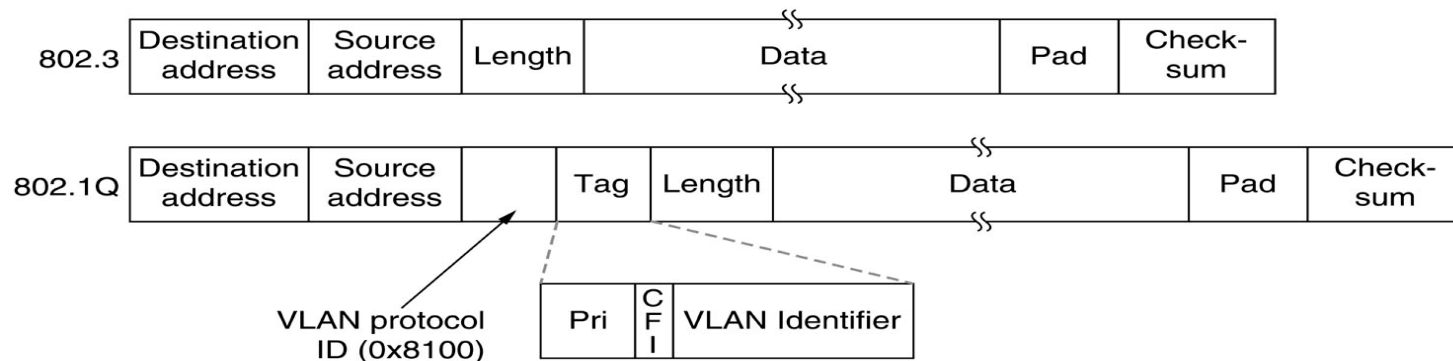
Criteri di Appartenenza alle VLAN

I VLAN-Switch sono Switch che supportano la gestione VLAN mediante opportune tabelle di configurazione in cui sono elencate le VLAN disponibili e le porte associate. Ad una porta possono essere associate più VLAN (se dietro la porta c'è un HUB o uno Switch)

Le frame che attraversano diversi Switch devono essere etichettate per consentirne una corretta gestione. Occorre quindi una modifica dell'header del Frame per far posto all'etichetta VLAN. Il primo Switch che tocca il Frame aggiunge l'etichetta e l'ultimo sul percorso la rimuove.

Una porta di uno switch su cui viaggiano frame con VLAN TAG è detta **tagged port**. Una porta su cui viaggiano frame senza modifica (verso un host) è detta **untagged**.

802.1Q è lo standard proposto nel 1998 da IEEE per la modifica del Frame Ethernet.



Criteri di Appartenenza alle VLAN

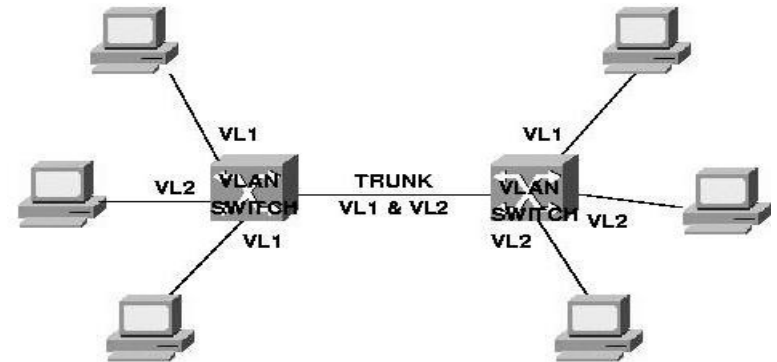
L'appartenenza ad un host ad una VLAN può essere definita secondo vari criteri:

- ▶ **Porte:** ciascuna porta di uno Switch è configurata per appartenere ad una data VLAN.

Esempio di configurazione di 2 VLAN in uno Switch:

VLAN1 : port 1-4 untagged, port 25 tagged

VLAN2: port 5-24 untagged, port 25 tagged



- ▶ **Autenticazione:** diversi apparati possono essere assegnati automaticamente ad una VLAN sulla base di criteri di autenticazione (esempio Access Point WiFi).
- ▶ **Protocollo:** Ad esempio i pacchetti IP possono appartenere ad una VLAN , diversa da quella usata dai pacchetti IPX.