

Reti di Telecomunicazioni



Livello Data Link
Ethernet



Autori



Queste slides sono state scritte da

Michele Michelotto:

michele.michelotto@pd.infn.it

che ne detiene i diritti a tutti gli effetti



Copyright Notice



Queste slides possono essere copiate e distribuite gratuitamente soltanto con il consenso dell'autore e a condizione che nella copia venga specificata la proprietà intellettuale delle stesse e che copia e distribuzione non siano effettuate a fini di lucro.



MAC sublayer



Introduzione

Layer: Modello OSI e TCP/IP

Physics Layer

Data Link Layer

MAC sublayer



Standards IEEE 802



- Sono gli standard più usati per le LAN
- Comprendono CSMA/CD, token bus e token ring
- Differiscono al livello fisico e sublayer MAC ma sono compatibili nella parte alta di Data Link chiamata LLC Logical Link Control (LLC) e detta 802.2
- 802.1 introduce semplicemente gli standard e definisce le interfacce base
- Molti sono morti ma tra quelli sopravvissuti sono importanti 802.3 Ethernet, 802.11 (wireless LAN) e in misura minore 802.15 (Bluetooth) e 802.16 (Wireless MAN)



Standard 802 vivi e defunti



- IEEE 802.1 Higher layer LAN protocols
- IEEE 802.2 Logical link control
- IEEE 802.3 Ethernet
- IEEE 802.4 Token bus (disbanded)
- IEEE 802.5 Token Ring
- IEEE 802.6 Metropolitan Area Networks (disbanded)
- IEEE 802.7 Broadband LAN using Coaxial Cable (disbanded)
- IEEE 802.8 Fiber Optic TAG (disbanded)
- IEEE 802.9 Integrated Services LAN (disbanded)
- IEEE 802.10 Interoperable LAN Security (disbanded)
- IEEE 802.11 Wireless LAN (Wi-Fi certification)
- IEEE 802.12 demand priority
- IEEE 802.13 (not used)
- IEEE 802.14 Cable modems (disbanded)
- IEEE 802.15 Wireless PAN
 - IEEE 802.15.1 (Bluetooth certification)
- IEEE 802.16 Broadband Wireless Access (WiMAX certification)
 - IEEE 802.16e (Mobile) Broadband Wireless Access
- IEEE 802.17 Resilient packet ring
- IEEE 802.18 Radio Regulatory TAG
- IEEE 802.19 Coexistence TAG
- IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access
- IEEE 802.21 Media Independent Handoff
- IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network





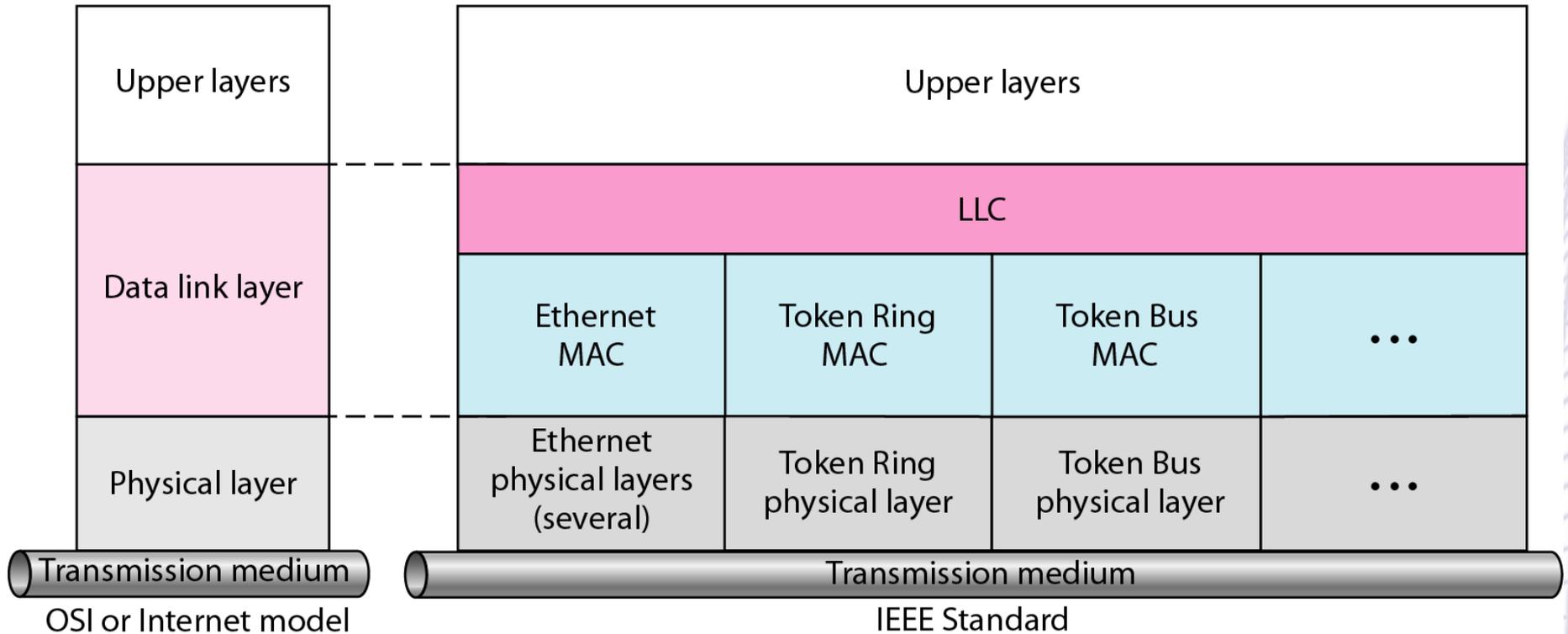
Number	Topic
802.1	Overview and architecture of LANs
802.2 ↓	Logical link control
802.3 *	Ethernet
802.4 ↓	Token bus (was briefly used in manufacturing plants)
802.5	Token ring (IBM's entry into the LAN world)
802.6 ↓	Dual queue dual bus (early metropolitan area network)
802.7 ↓	Technical advisory group on broadband technologies
802.8 †	Technical advisory group on fiber optic technologies
802.9 ↓	Isochronous LANs (for real-time applications)
802.10 ↓	Virtual LANs and security
802.11 *	Wireless LANs (WiFi)
802.12 ↓	Demand priority (Hewlett-Packard's AnyLAN)
802.13	Unlucky number; nobody wanted it
802.14 ↓	Cable modems (defunct: an industry consortium got there first)
802.15 *	Personal area networks (Bluetooth, Zigbee)
802.16 *	Broadband wireless (WiMAX)
802.17	Resilient packet ring
802.18	Technical advisory group on radio regulatory issues
802.19	Technical advisory group on coexistence of all these standards
802.20	Mobile broadband wireless (similar to 802.16e)
802.21	Media independent handoff (for roaming over technologies)
802.22	Wireless regional area network

The 802 working groups. The important ones are marked with *. The ones marked with ↓ are hibernating. The one marked with † gave up and disbanded itself.



Famiglia 802

LLC: Logical link control
MAC: Media access control





Frame 802 vs frame HDLXC

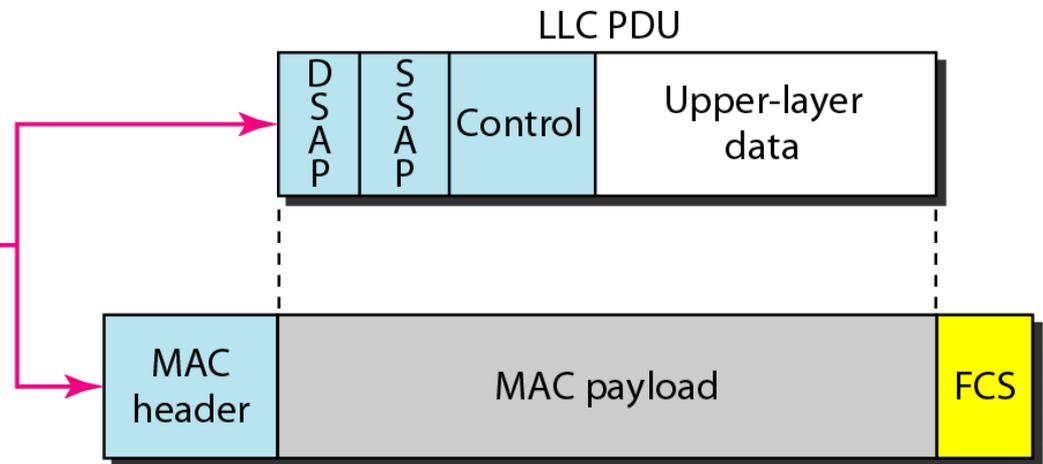


DSAP: Destination service access point

SSAP: Source service access point



HDLC frame



MAC frame



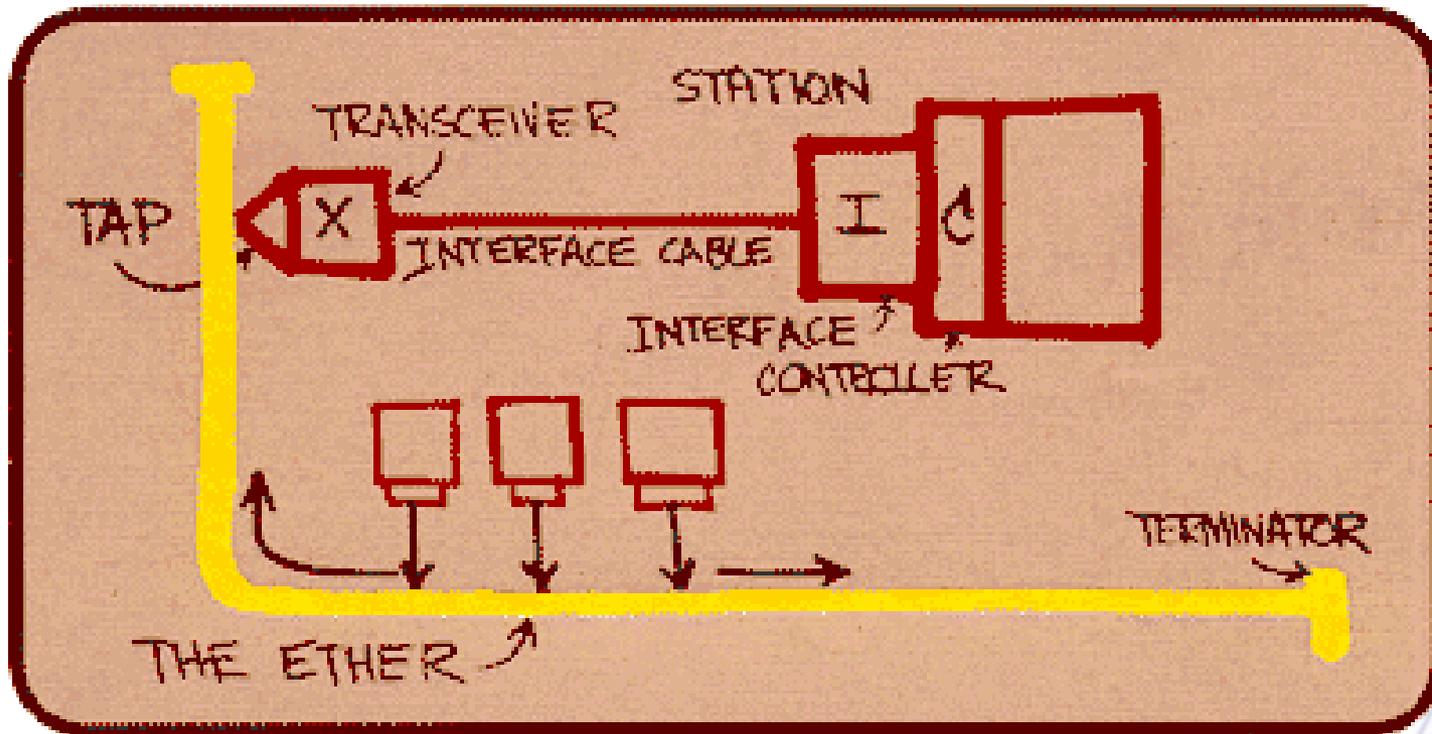
802.3 e Ethernet

- Xerox, DEC, e Intel proposero a fine anni '70 uno standard detto Ethernet basato su CSMA/CD
- Da questo fu derivato lo standard IEEE 802.3 che definisce una intera famiglia di sistemi CSMA/CD con bande passanti da 1 a 10 Mbps su diversi media
- L'unica differenza sta nel significato di un campo nell'header (il campo lunghezza in 802.3 era il campo "tipo" in Ethernet)



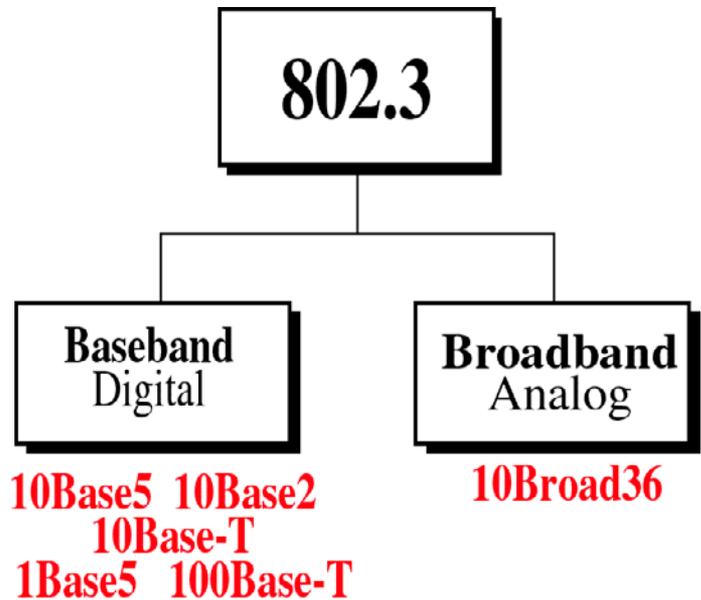
Ethernet di Metcalf

- Lo schizzo originale di Metcalf, l'inventore di Ethernet
- E' tra i fondatori di 3COM

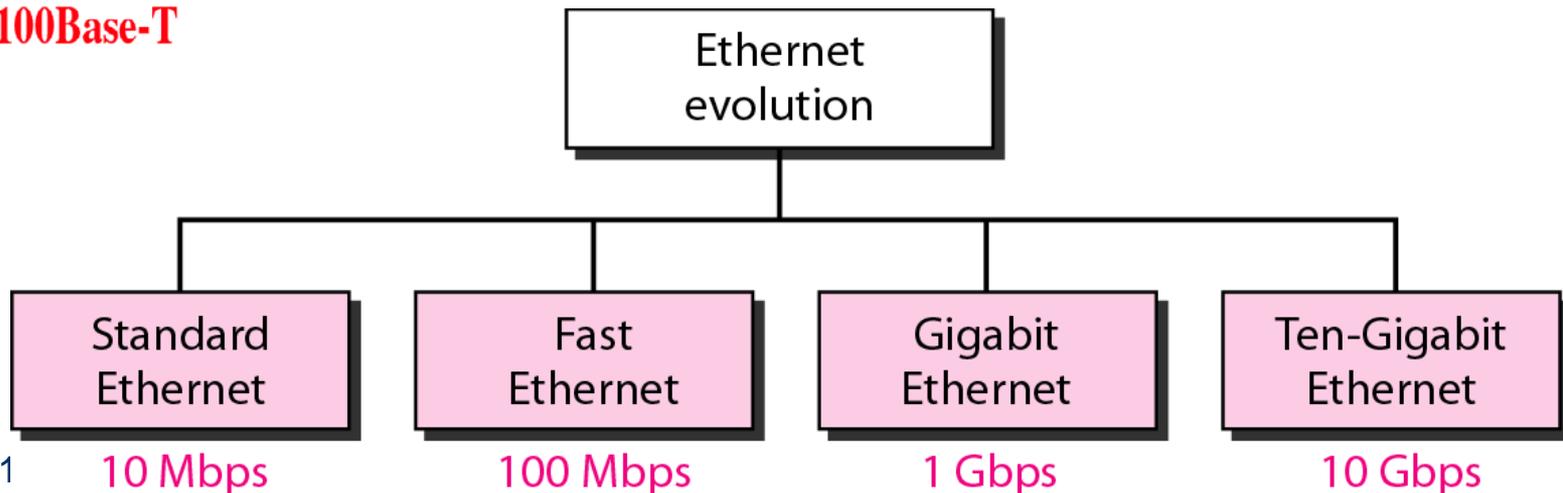




famiglie 802.3

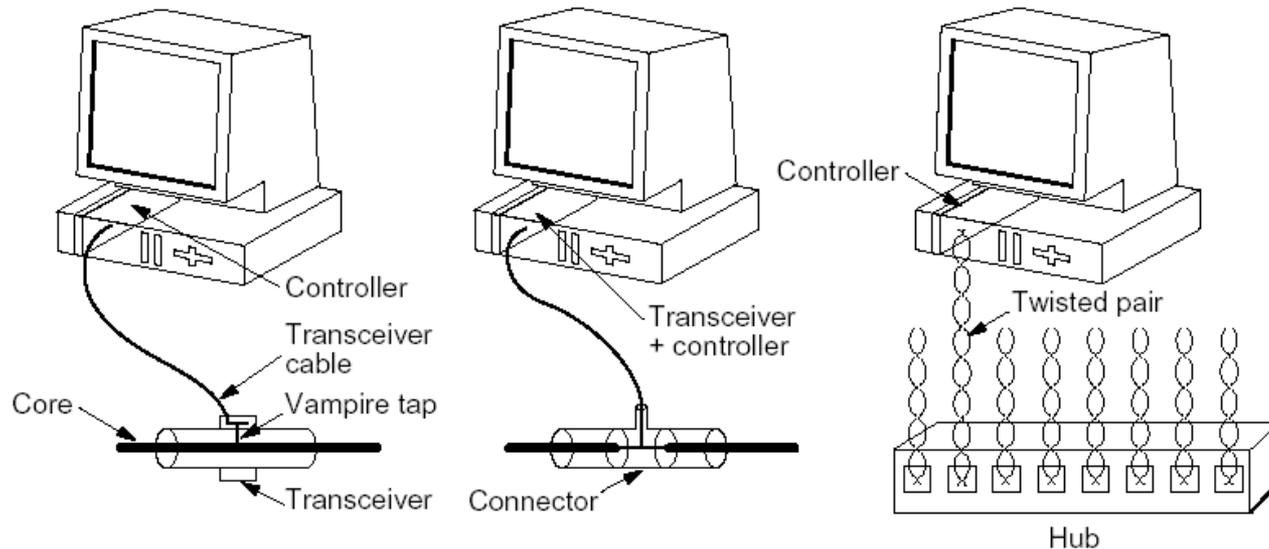


- Le prime famiglie di protocolli 802.3: alcune sono poi scomparse o non si sono mai diffuse
- L'evoluzione di Ethernet ha raggiunto la quarta generazione / quinta generazione





Cablaggio 802.3

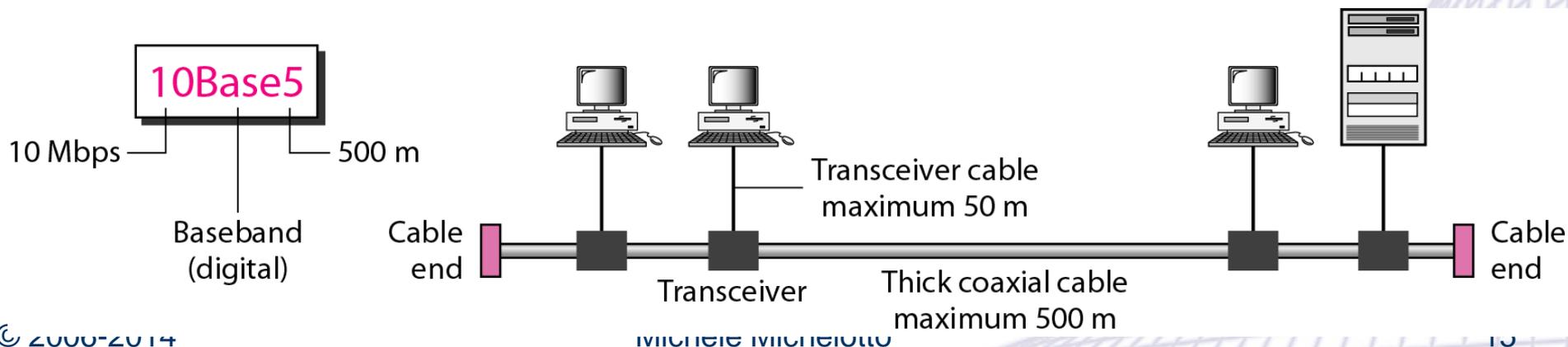


Nome	Cavo	Max. segment	Nodi/seg.	Vantaggi
10Base5	Thick coax	500 m	100	Buone per i backbone
10Base2	Thin coax	200 m	30	Economico
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Facile manutenzione
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Tra edifici



10Base5

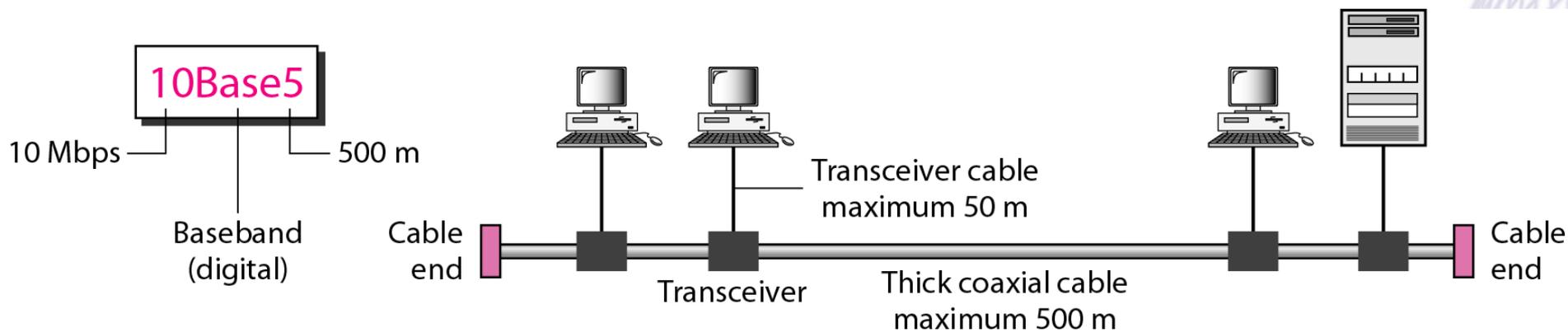
- 10Base5 – su Thick Coax: sembra una gomma per innaffiare il giardino, gialla.
- Ogni 2.5 metri ci sono segni per le connessioni con “vampire tap”, dei denti da forzare dentro il core del coax
- Le macchine vanno connesse tramite un **transceiver** (che contiene l’elettronica per carrier sense e collision detection) e un transceiver cable (fino a 50m)





10Base5

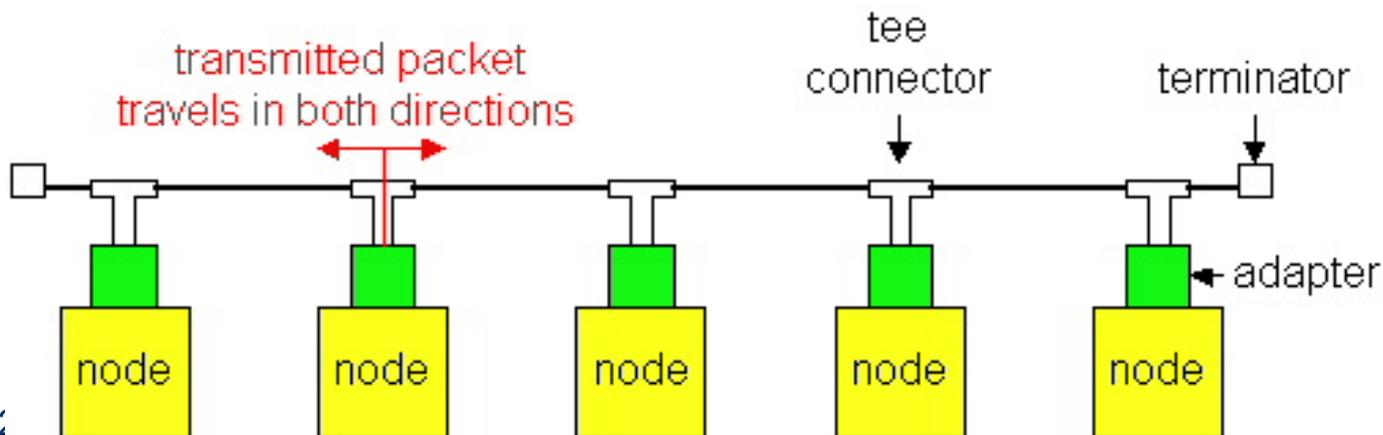
- 10Base5 significa che
 - Opera a 10 Mbps
 - Usa baseband (in pratica digitale e non analogico)
 - 5 significa che supporta segmenti da 500 metri (raggio di collisione)





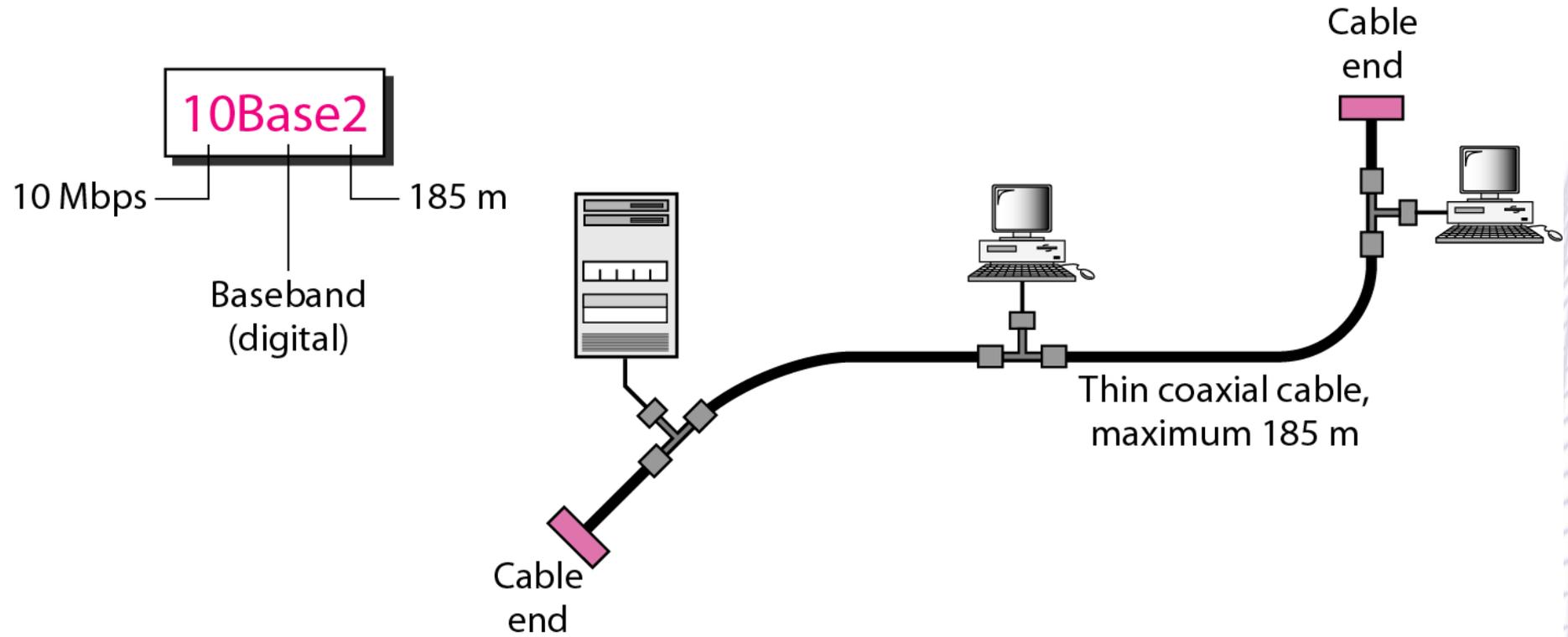
10Base2

- **10Base2** – detto anche **thin Ethernet**.
- Connessione con connettori standard BNC
- L'elettronica per carrier sense e collision detection si trova nella scheda di rete (NIC, Network Interface Card)
- Tiene fino a 30 macchine per segmento
- Raggio di collisione 185 metri (\approx 2-cento)
- Massima economia ma difficile da gestire. Un problema in una connessione o un link qualsiasi disturba tutto il segmento.





10Base2





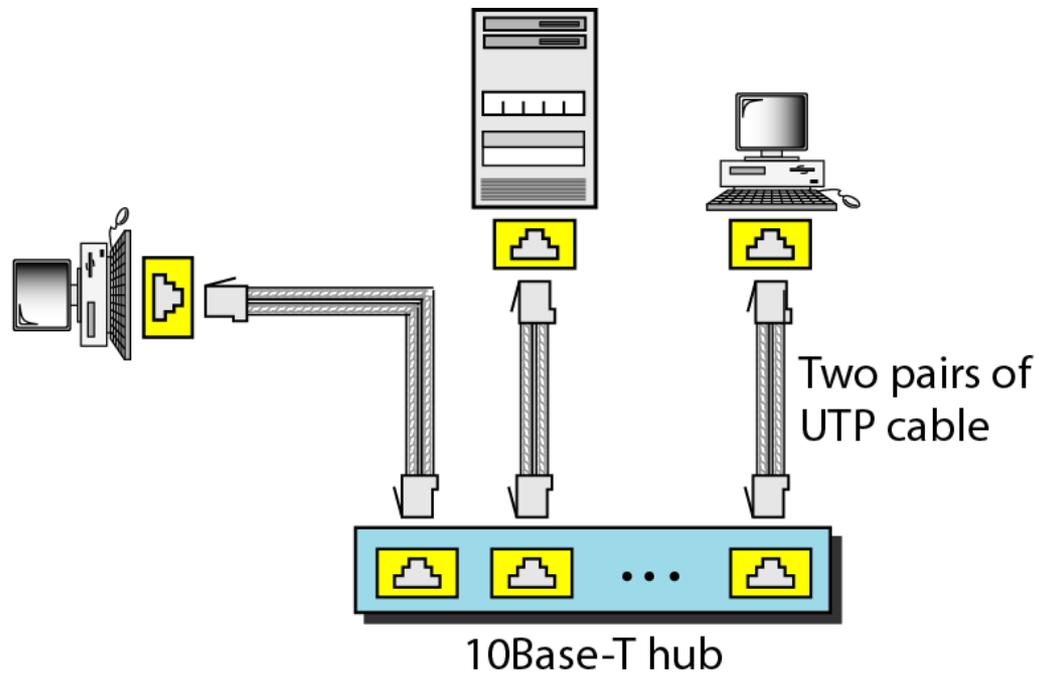
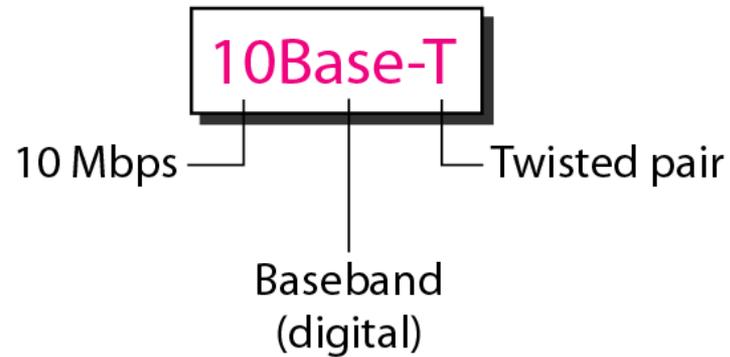
10BaseT



- Ogni cavo va a finire in HUB
- Molto facile aggiungere e togliere una macchina senza distruggere la connettività
- Facile vedere se ci sono problemi di cavo
- Svantaggi: La distanza massima dall'hub è di circa 100 metri (max 150 con cavi cat5)
- Un hub alla fine costava tra 30 Euro (5/8 porte) a 200-700 Euro (24 porte)



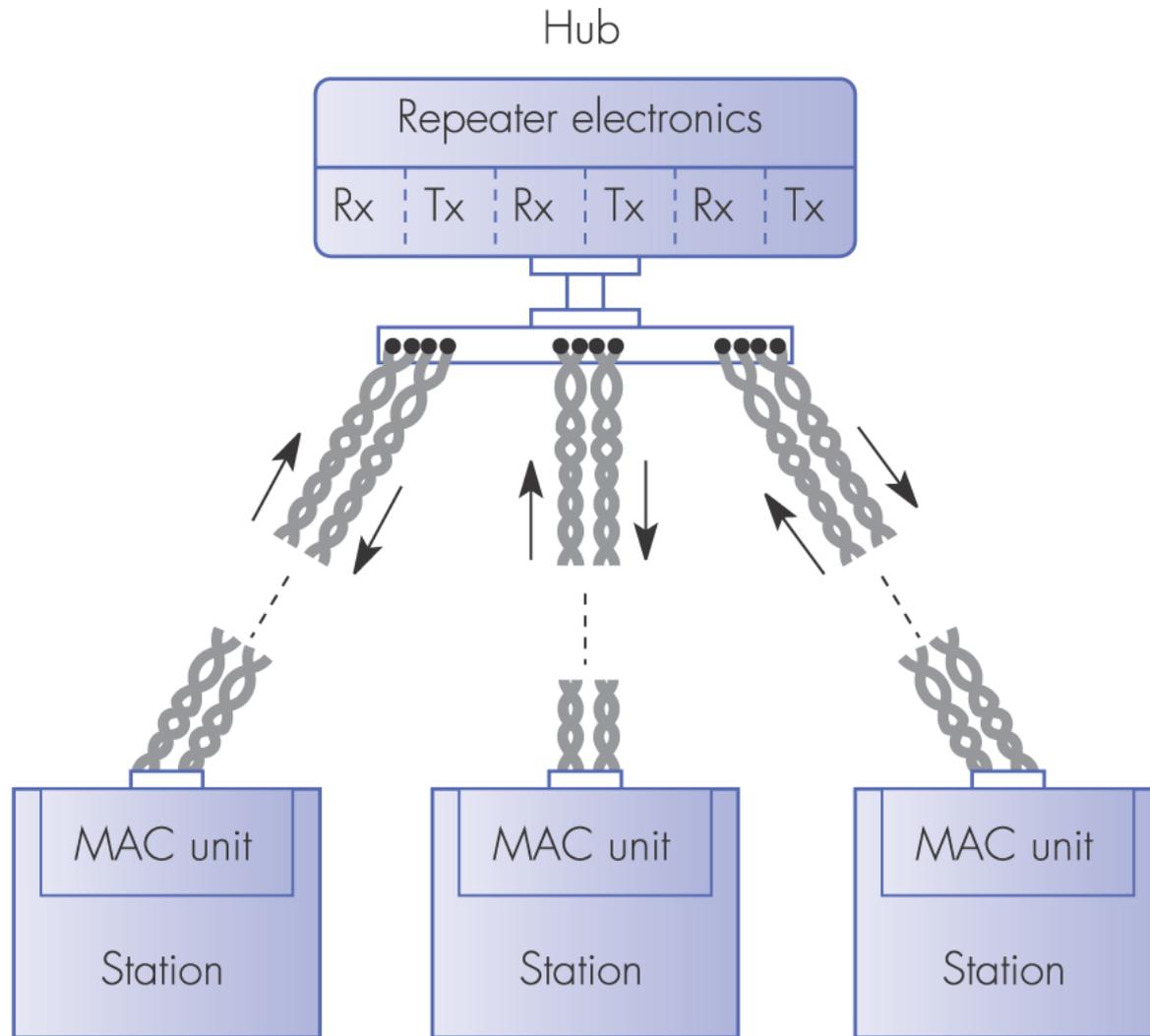
10BaseT





Hub 10baseT

(a)





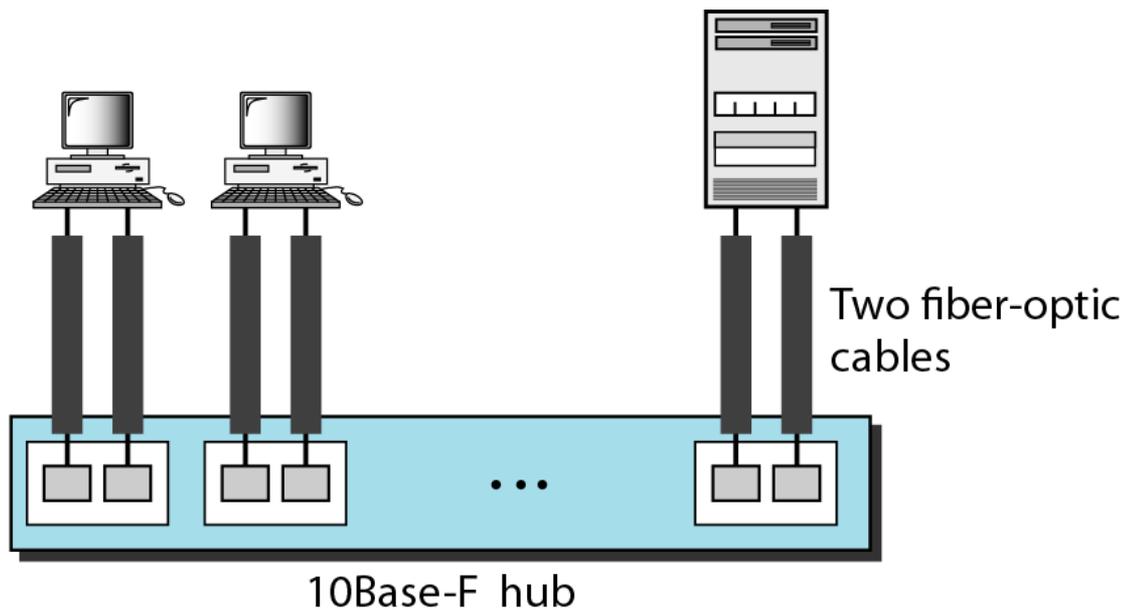
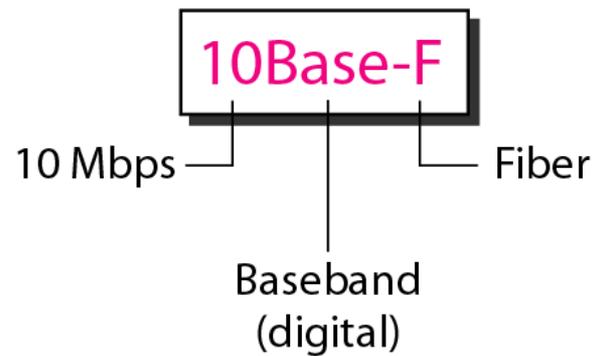
10BaseF



- Usa Fibre Ottiche
- Molto costosa per il costo di connettori e terminazioni ma immune da rumore e.m.
- Scelta obbligata quando si vogliono (si volevano) connettere hub molto distanti (edifici diversi, fino a km)
- Immune anche da wiretapping (intercettazioni)

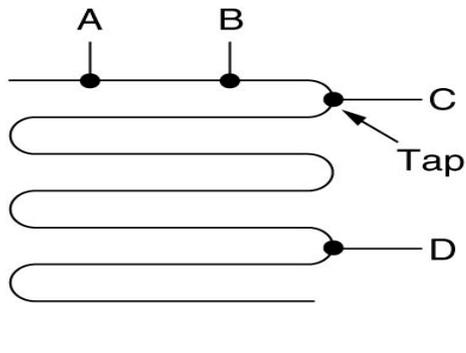


10BaseF

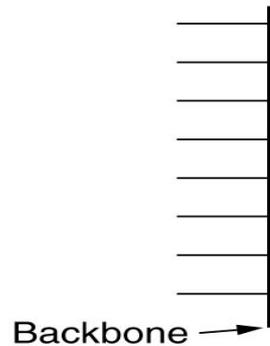




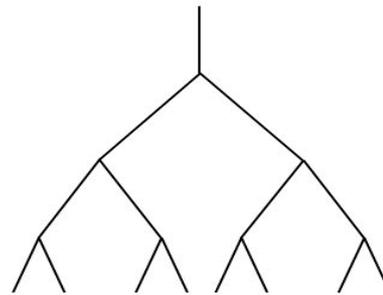
Topologie Ethernet



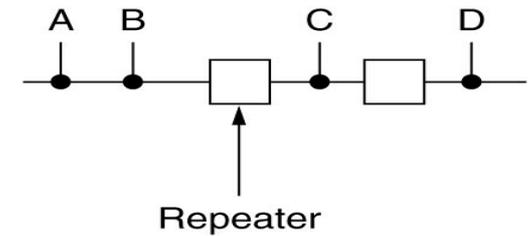
(a)



(b)



(c)



(d)

- (a) Lineare
- (b) Spina
- (c) Albero: molto diffusa
- (d) Segmentata da repeater



Repeater



- Ogni versione di 802.3 ha una lunghezza massima per segmento
- Per avere reti molto grandi, diversi cavi possono essere uniti da oggetti chiamati **Repeater**
- Il repeater agisce a livello 1 (Physical Layer), riceve, amplifica e ritrasmette il segnale in entrambe le direzioni
- Un sistema può contenere diversi segmenti e repeater purché la distanza tra due transceivers non superi 2.5 km e tra due transceiver non ci siano più di quattro repeater

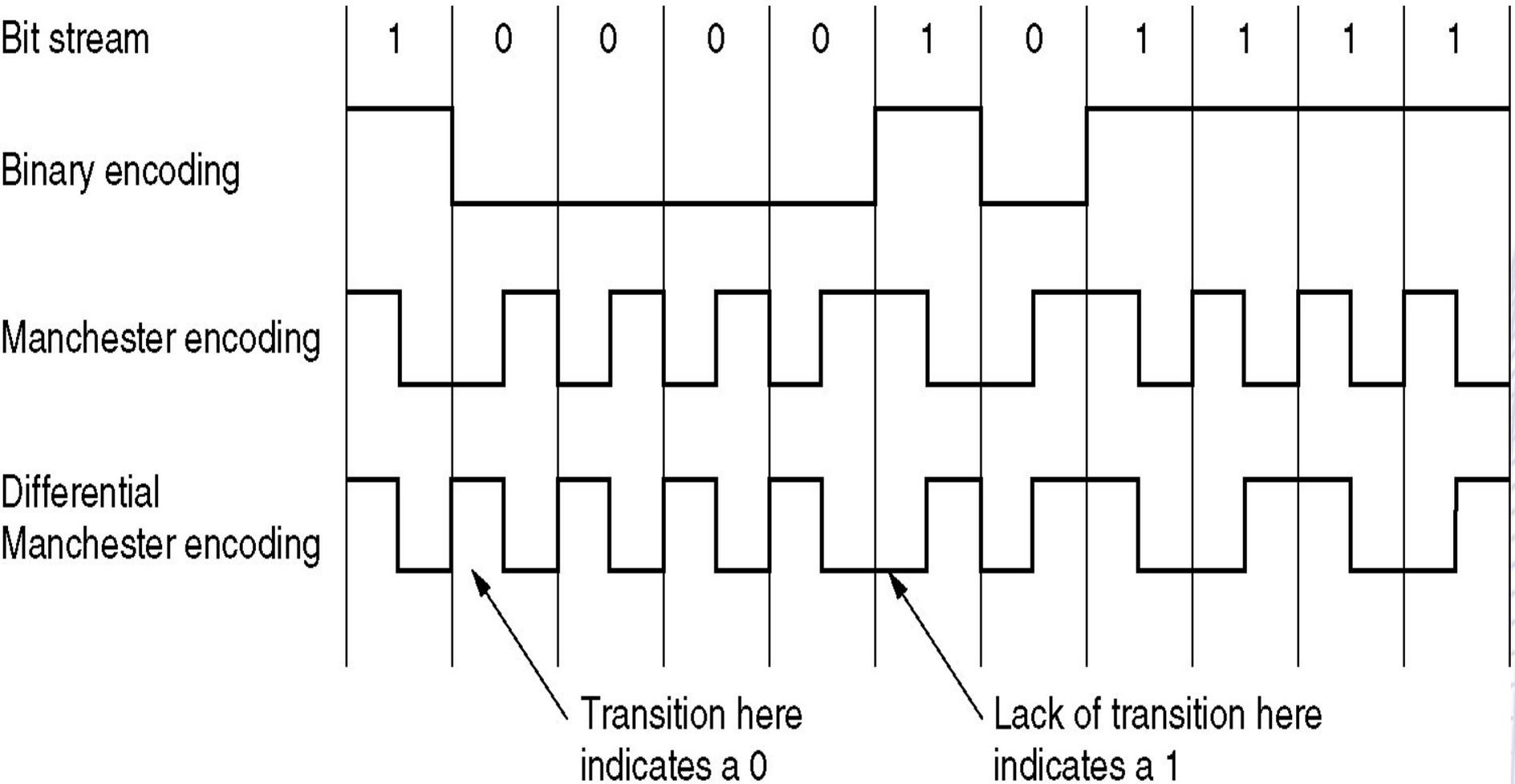


Manchester Encoding

- Per distinguere tra idle e bit 0 si potrebbe dire che **1 Volt** equivale a bit 1 e **-1 Volt** equivale a 0 (ricordate problema della collisione analogica)
- Importante capire dove inizia e finisce un bit soprattutto per lunghi stream di bit 1 o 0, ma senza usare un clock esterno
- **Manchester encoding**: ogni bit ha una transizione 01 oppure 10. Purtroppo richiede doppia banda rispetto ad un encoding binario diretto a causa della mezza ampiezza (10 Mbit/sec → 20 Mtransizioni/sec)
- **Differential Manchester Encoding**: bit 0 transizione a inizio intervallo, bit 1 mancanza di transizione a inizio intervallo. Richiede apparecchiature un po' più complesse ma offre maggior immunità al rumore
- Ethernet usa Manchester Encoding tra **+0.85V** e **-0.85V** con media a 0 mentre p.es. Token Ring usa Differential Manchester Encoding



Manchester Encoding





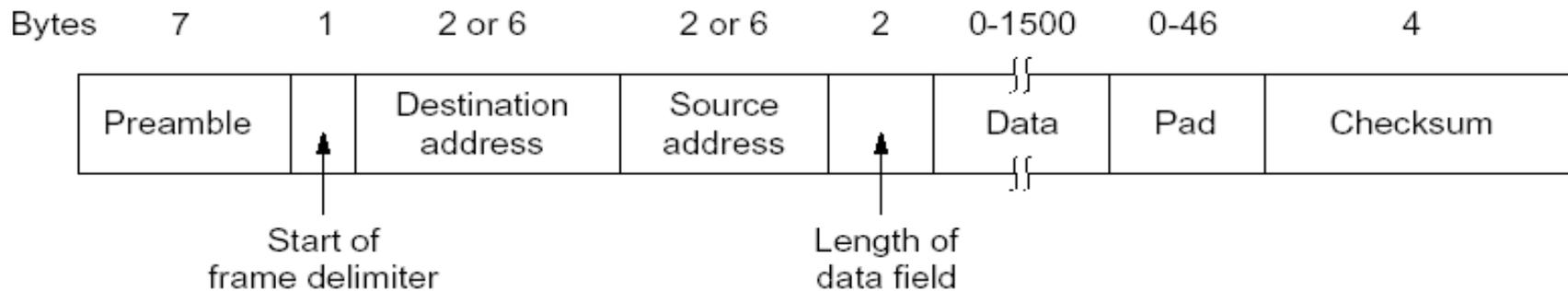
Frame 802.3

- Preamble sono 7 Bytes (8 nel frame DIX, Digital, Intel, Xerox) che valgono **10101010** (una onda quadra a 10 MHz per 6.4 μ s per favorire la sincronizzazione)
- Il byte di start of frame vale **10101011** (manca nel DIX)

Bytes	8	6	6	2	0-1500	0-46	4
DIX	Preamble	Destination address	Source address	Type	Data	Pad	Check-sum
802.3	Preamble	S O F Destination address	Source address	Length	Data	Pad	Check-sum



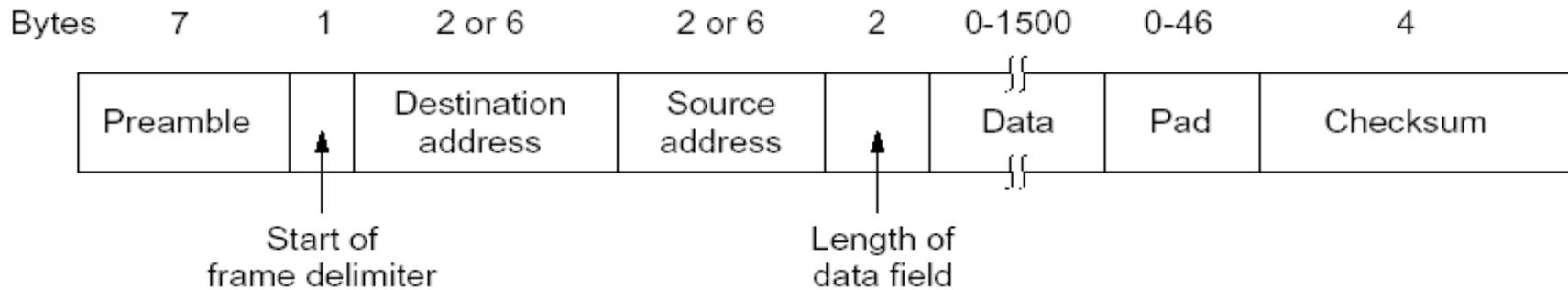
Indirizzi 802.3



- Gli indirizzi per 10Mbps sono tutti a 6 byte (48bit) e sono detti **MAC-Address** (indirizzi del livello MAC)
- Se il bit 47 vale 1 → Multicast address (tutte le stazioni di un gruppo devono ricevere quel frame)
- Se tutti i bit valgono 1 → Broadcast address tutte le stazioni devono ricevere il frame (FF:FF:FF:FF:FF:FF)



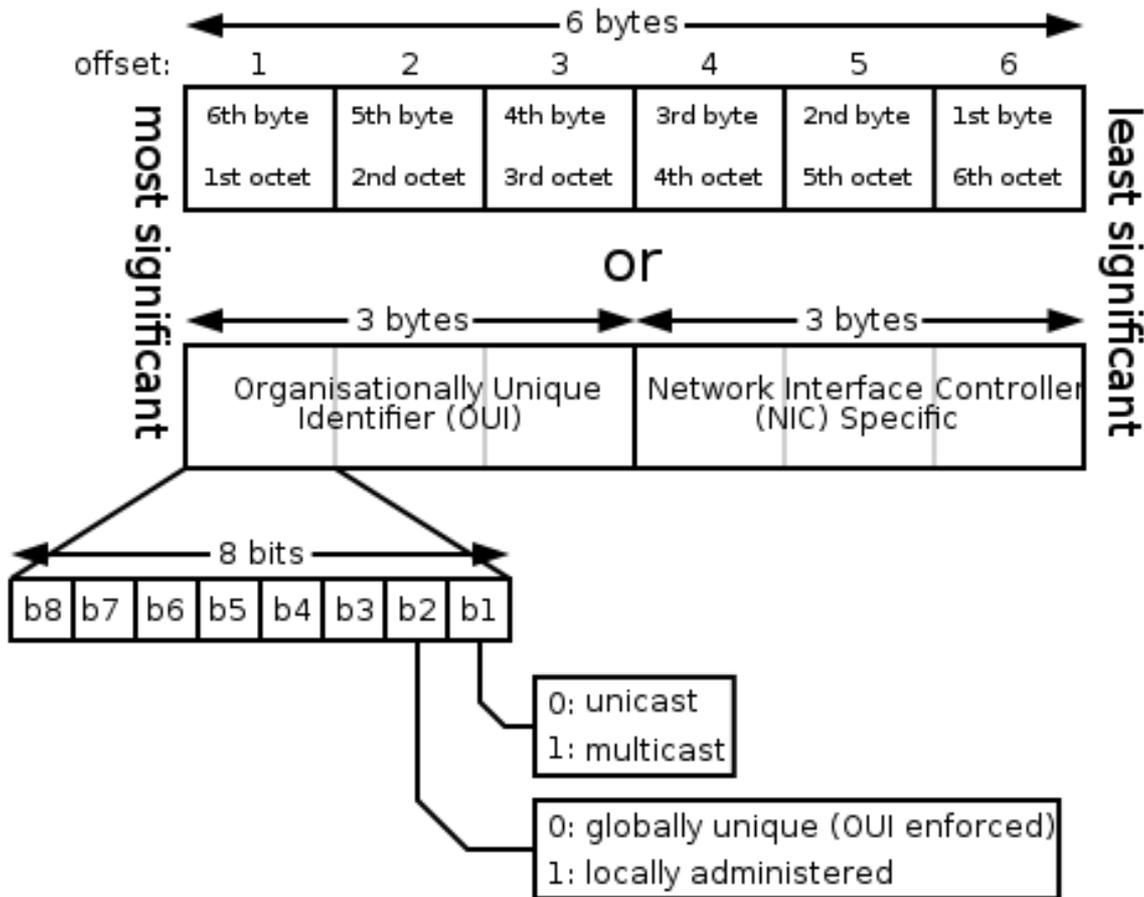
Indirizzi 802.3



- Il bit 46 differenzia indirizzi locali da globali. Quelli locali sono definiti dall'amministratore (e valgono solo nella LAN)
- Quelli globali hanno i bit da 25 a 45 (20 bit) definiti da IEEE per impedire che due schede di rete abbiano lo stesso MAC-Address globale
- In questo modo rimangono 24 bit per 2^{24} (**16M**) indirizzi diversi per ogni codice di produttore e 2M di codici produttori diversi per un totale di $7 \cdot 10^{13}$ indirizzi diversi totali



Indirizzi 802.3





Formato indirizzi

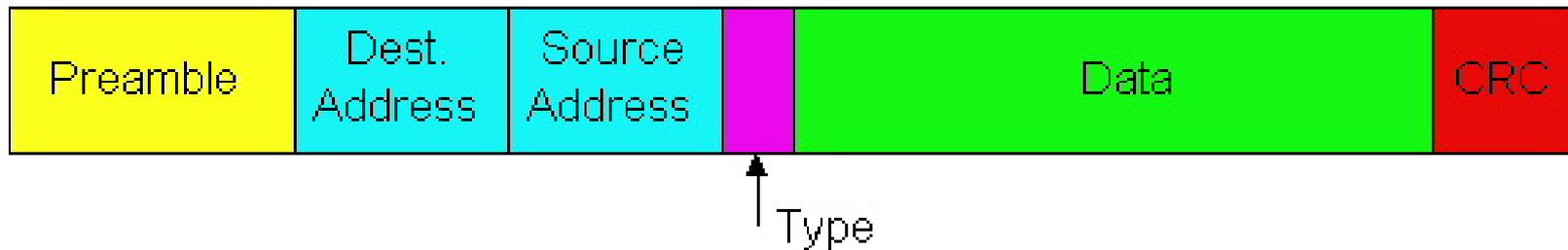
- Esempio di indirizzo Ethernet
- Vengono di solito scritti come 12 cifre esadecimali

06 : 01 : 02 : 01 : 2C : 4B

6 bytes = 12 hex digits = 48 bits



Type e lunghezza 802.3



- Poi il Type usato per specificare a quale protocollo di L3 consegnare il pacchetto, In 802.3 viene usato per la lunghezza



Differenza DIX vs 802.3

- Con la standardizzazione il comitato fece due cambiamenti al formato DIX
 - Il primo di ridurre il Preamble a 7 byte per usare l'ultimo byte come Start of Frame per compatibilità con 802.4 e 802.5
 - Il secondo di cambiare il campo Type in un campo Length



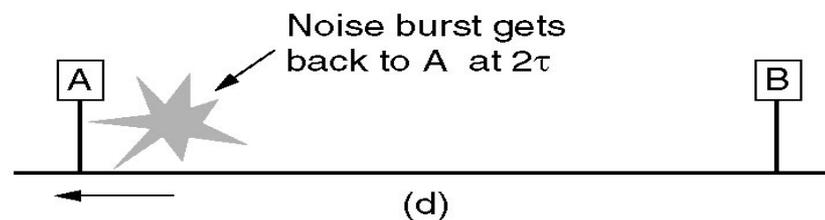
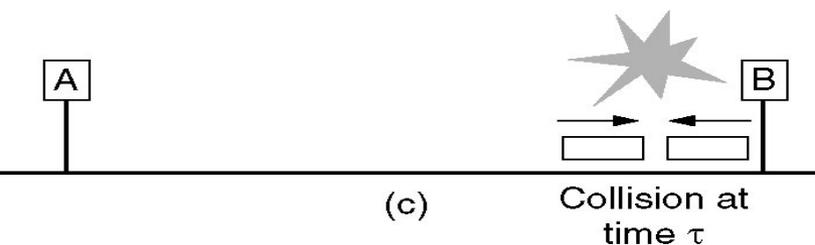
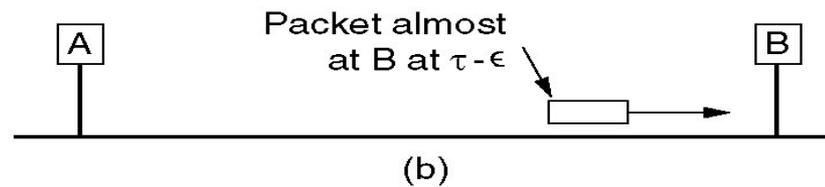
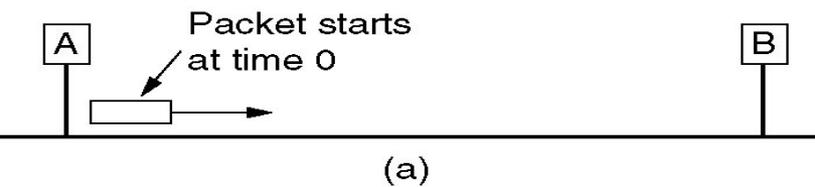
Type vs Length

- Ora che manca il campo **Type** il ricevente non sa cosa fare del frame arrivato ma questo problema viene risolto mettendo alcune informazioni nel campo dati (lo vedremo nel Logical Link Control)
- Quando 802.3 fu pubblicato c'era un sacco di hardware e software che usava DIX per cui a nessuno piacque l'idea di convertire **Type** in **Length**
- Nel 1997 IEEE dichiarò che entrambi gli usi erano corretti
- Per fortuna tutti i campi **Type** usati prima del 1997 avevano valori superiori a **1500** byte per cui tutti i numeri inferiori vengono interpretati come **Lunghezza** e quelli superiori come **Type**



Payload minimo

- La parte dati è di lunghezza variabile fino a 1500 bytes, scelto ai tempi di DIX per avere transceiver con poca RAM
- Lunghezza minima, utile per distinguere un frame buono da uno rovinato da collisioni, troncamenti. Un frame deve essere almeno 64 byte per cui servono almeno 46 byte di dati; se non ci sono si aggiungono nel campo di Pad
- Avere una lunghezza minima previene che una stazione completi la trasmissione prima che il primo bit abbia raggiunto l'estremità del cavo dove potrebbe collidere con un altro frame:





Lunghezza frame 802.3



- τ tempo per arrivare al punto piu distante
- Appena prima di arrivare B vede la collisione e genera 48 bit di rumore per essere sicuro che A lo veda (al tempo 2τ) e anche tutte le altre stazioni
- Se il frame fosse troppo corto, A finirebbe di trasmetterlo prima di sapere che sia andato a buon fine
- Quindi un frame deve essere lungo almeno 2τ
- Per una LAN con lunghezza massima di 2500 m e 4 repeater, il **rtt** risulta essere di **$50\mu\text{s}$**



Checksum



- Ultimo campo è il checksum
- In pratica un hash code a 32 bit di tutti i dati
- Se qualche bit viene ricevuto non correttamente il checksum calcolato sarà diverso da quello ricevuto e l'errore rivelato
- Si tratta di un CRC che fa solo errore detection ma non error correction



Binary Exponential Backoff



- Come funziona la randomizzazione in caso di collisione?
- Dopo la collisione il tempo viene diviso in slot di lunghezza uguale al peggior caso di tempo di propagazione RTT sul cavo (2τ) quindi 512 bit times o $51.2 \mu\text{s}$ come già detto
- Dopo la prima collisione ogni stazione aspetta 0 o 1 slot time prima di riprovare. Se due stazioni collidono e poi scelgono lo stesso numero random collideranno di nuovo (prob 50%)
- Dopo la seconda collisione ognuna prende a caso 0, 1, 2, 3 e aspetta quel numero di slot time



Binary Exponential Backoff



- Se ne capita una terza (in questo caso con probabilità 0.25) la prossima volta scelgo tra un numero di slot pari a 2^3-1
- In generale dopo " i " collisioni scelgo un numero a caso tra 0 e 2^i-1 e quel numero di slot viene saltato
- Tuttavia dopo 10 collisioni l'intervallo di randomizzazione viene congelato ad un massimo di 1023 slot
- Dopo 16 collisioni il controller getta la spugna e ammette al computer di avere fallito. Ci penseranno i layer superiori



Binary Exponential Backoff



- Questo algoritmo fu scelto per adattarsi dinamicamente al numero di stazioni che vogliono trasmettere
- Se l'intervallo fosse sempre di 1023 la probabilità di collidere per una seconda volta sarebbe piccola (1/1000) ma l'attesa media dopo una collisione sarebbe di centinaia di slot introducendo un delay significativo
- D'altra parte se il delay fosse sempre 0 o 1 e avessi 100 stazioni che vogliono spedire insieme, continuerei ad avere collisioni fino a quando 99 scelgono uno e una sceglie 0. Ci potrebbero volere anni



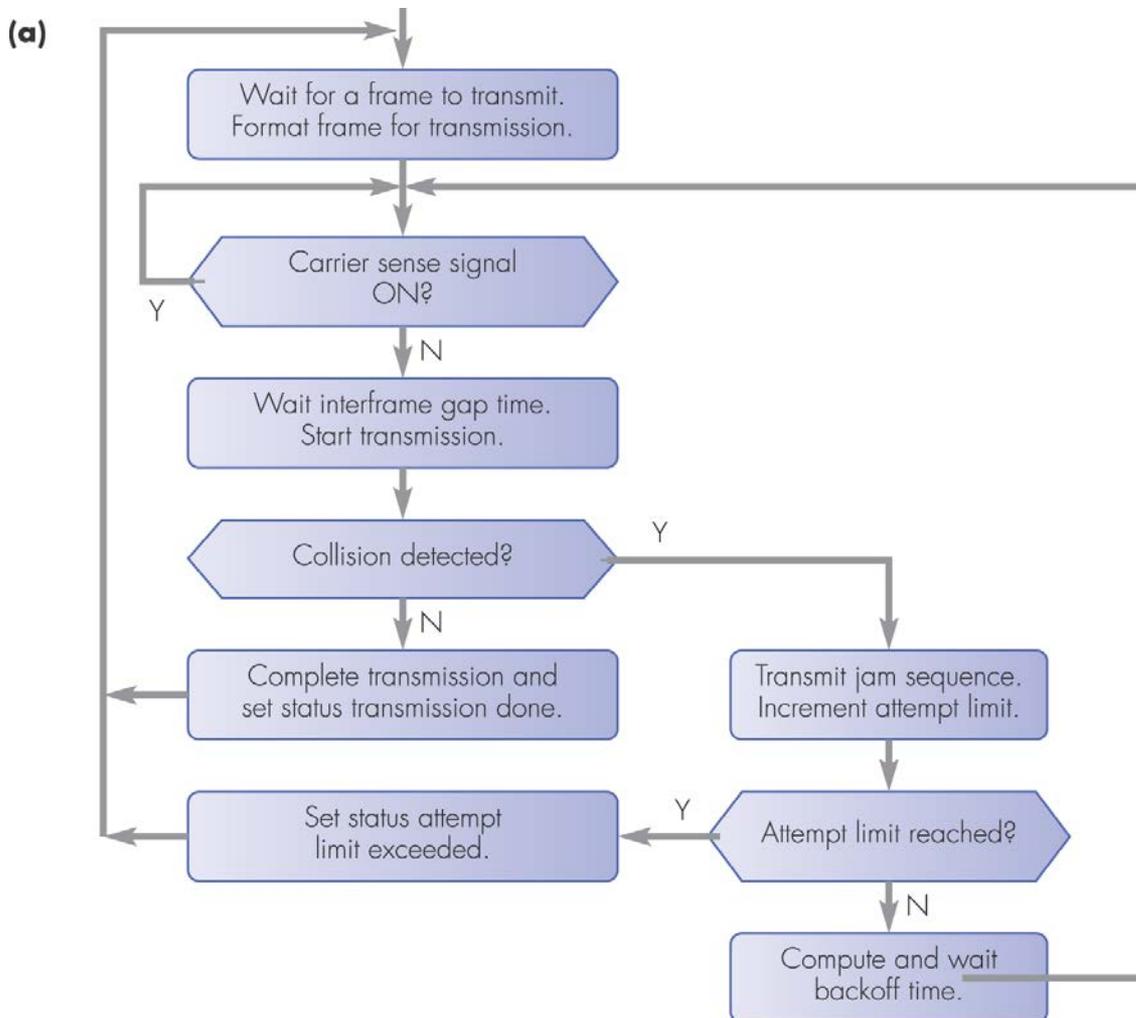
Binary Exponential Backoff



- Prendendo un intervallo che cresce in modo esponenziale, mano a mano che le collisioni successive avvengono l'algoritmo produce un piccolo delay quando ci sono poche stazioni che collidono ma anche che dopo un tempo ragionevole le collisioni vengono risolte quando ne ho tante
- Troncando a 1023 impedisco che il delay diventi eccessivo



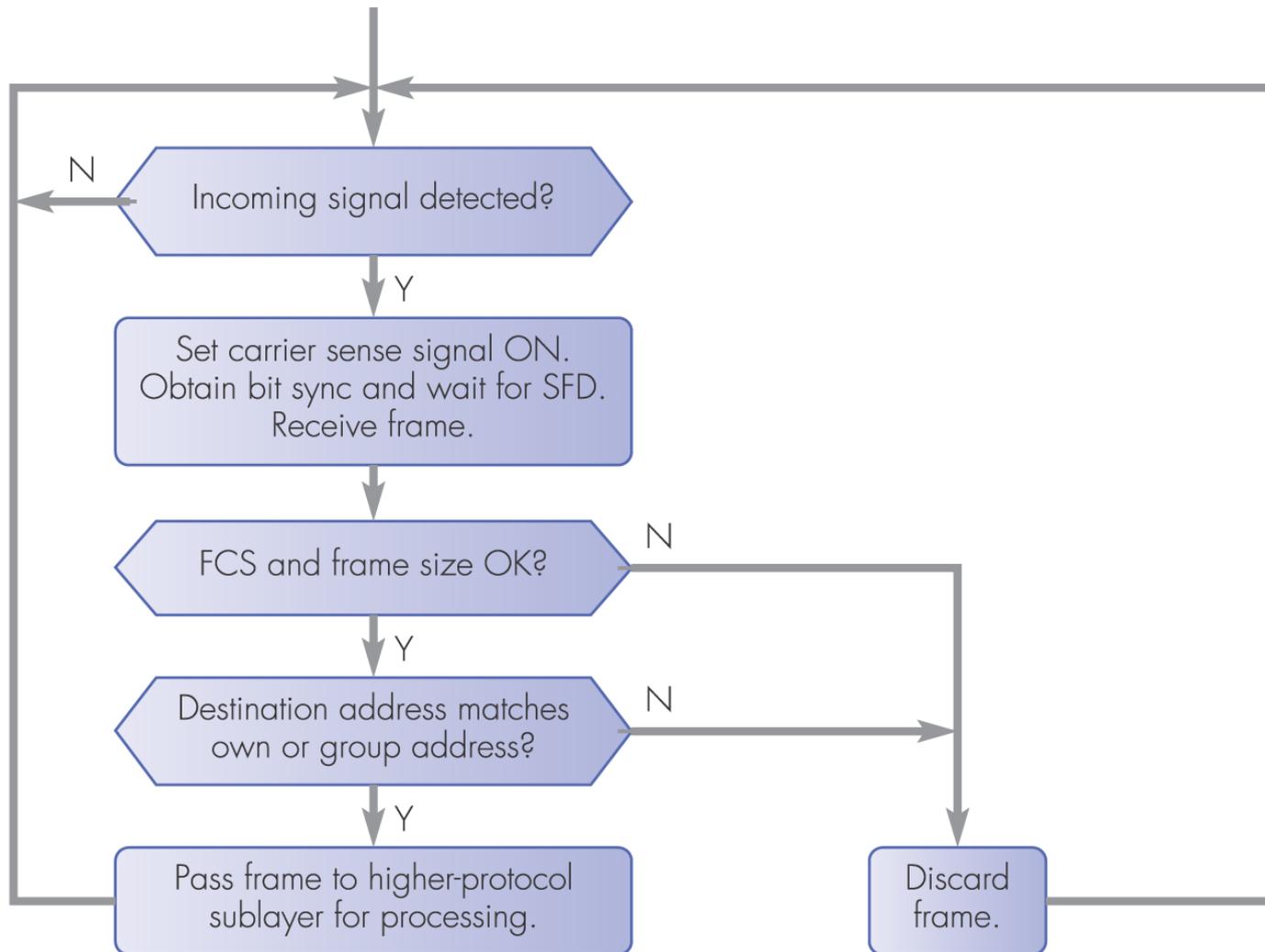
CSMA/CD transmit





CSMA/CD receive

(b)





Frame minimo fast e giga



- Per una rete a 100 Mbps con diametro di 2500 metri avrei bisogno di almeno 640 byte
 - si decise invece di limitare il diametro a 250 metri e tenere 64 byte
 - quindi con lo stesso frame minimo di Ethernet a 10 Mbps per avere la massima compatibilità
- Salendo di bandwidth il problema ovviamente peggiora.



Frame minimo gigabit

- Per una rete a 1 Gbps di 2500 metri il frame minimo sarebbe 6400 byte!!
 - Se volessi compatibilità con il frame minimo a 64 byte dovrei avere un diametro di soli 25 metri – troppo pochi!!
 - Si tenne il diametro a 200 metri quasi come Fast Ethernet e si decisero due estensioni
 - **Carrier Extension e Frame Bursting**



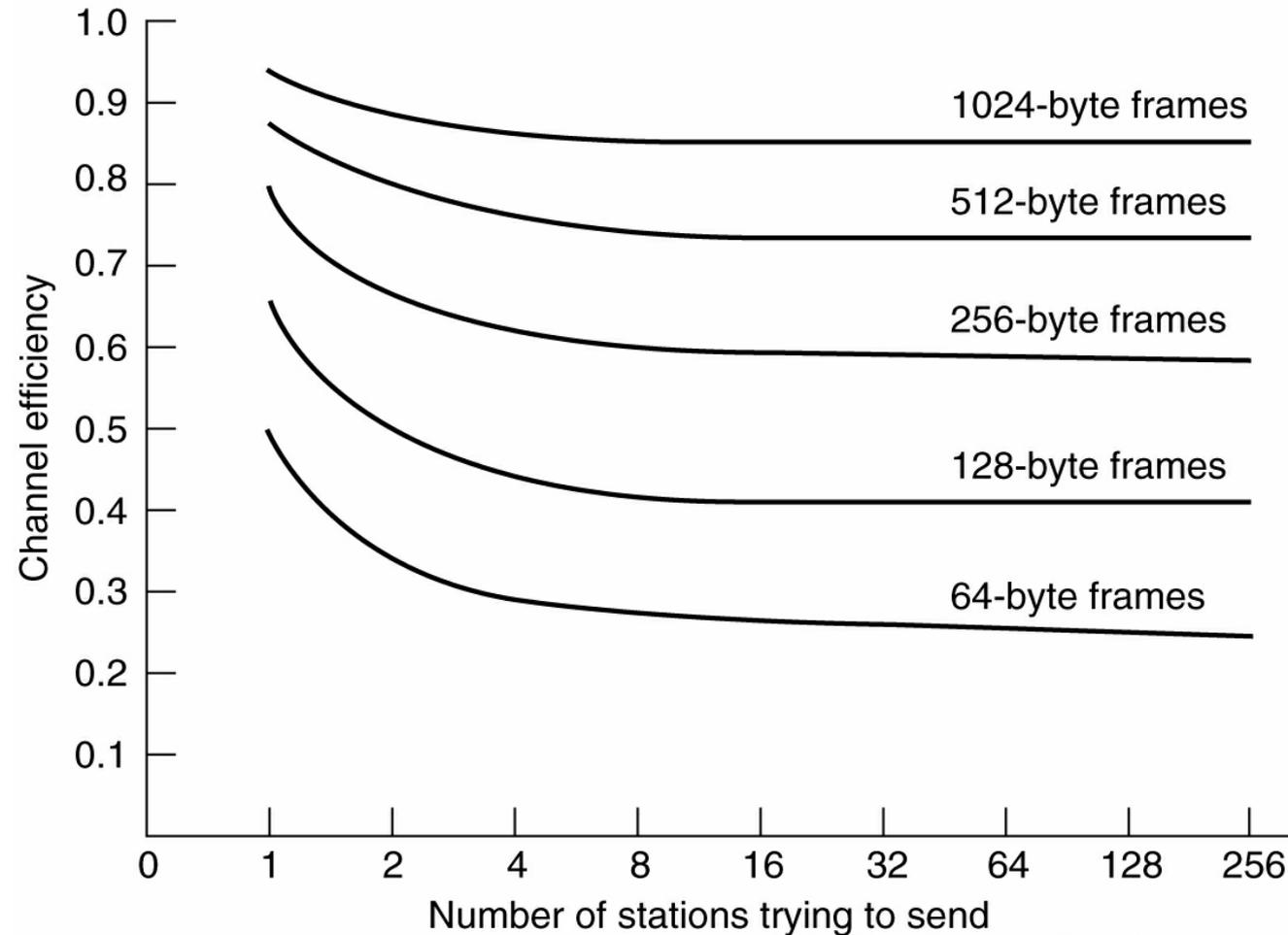
Extensions

- **Carrier Extension:** L'hardware aggiunge un suo padding per estendere il frame a 512 bytes. Questo viene aggiunto via hardware al lato mittente e tolto hardware a lato ricevente, quindi non devo modificare il sw. Ma usare 512 Bytes di dati per trasmettere 46 bytes di dati utenti significa usare solo il 9% della linea
- **Frame Bursting:** Diversi frame sono trasmessi concatenati e se poi ancora non basta si aggiunge il padding
- In realtà nessuno investe in hw gigabit per poi usarlo in reti shared con hub. Ma IEEE voleva a tutti i costi salvare la compatibilità.



Prestazioni

- Dipendono dalle dimensioni del frame
- Scarse (ovvio) con frame da **64 byte**
- Con frame grandi tendono al **90%**





Bridge Ethernet

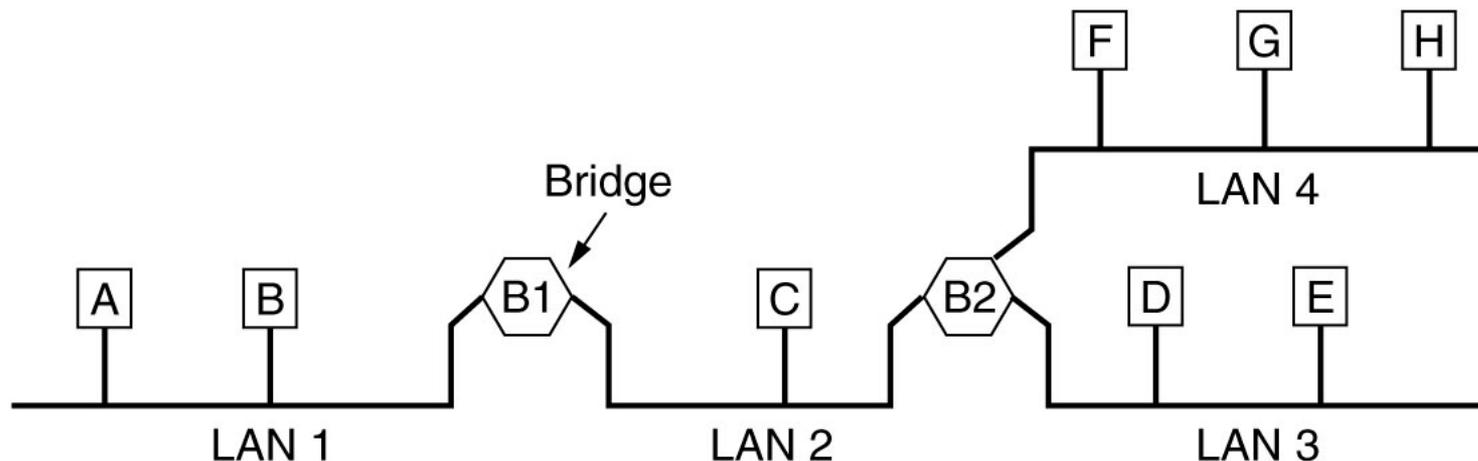


- Quando si connettono molte stazioni che trasmettono insieme il traffico aumenta fino alla saturazione.
- Se si riesce a dividere la rete in due gruppi di macchine che devono parlare in prevalenza tra di loro, la rete si può dividere in due reti (due domini di collisione).
- Un dispositivo detto bridge viene connesso alle due reti e osserva tutto il traffico (un dispositivo che vede tutto il traffico, anche quello non indirizzato al suo NIC viene detto in “**promiscuos mode**” (come uno sniffer).
- Quando vede un MAC address nuovo lo registra e ricorda da quale delle due reti arriva
- Il bridge “impara” la configurazione della rete osservando da dove arrivano i frame e tenendosi la configurazione in una cache



Learning Bridge

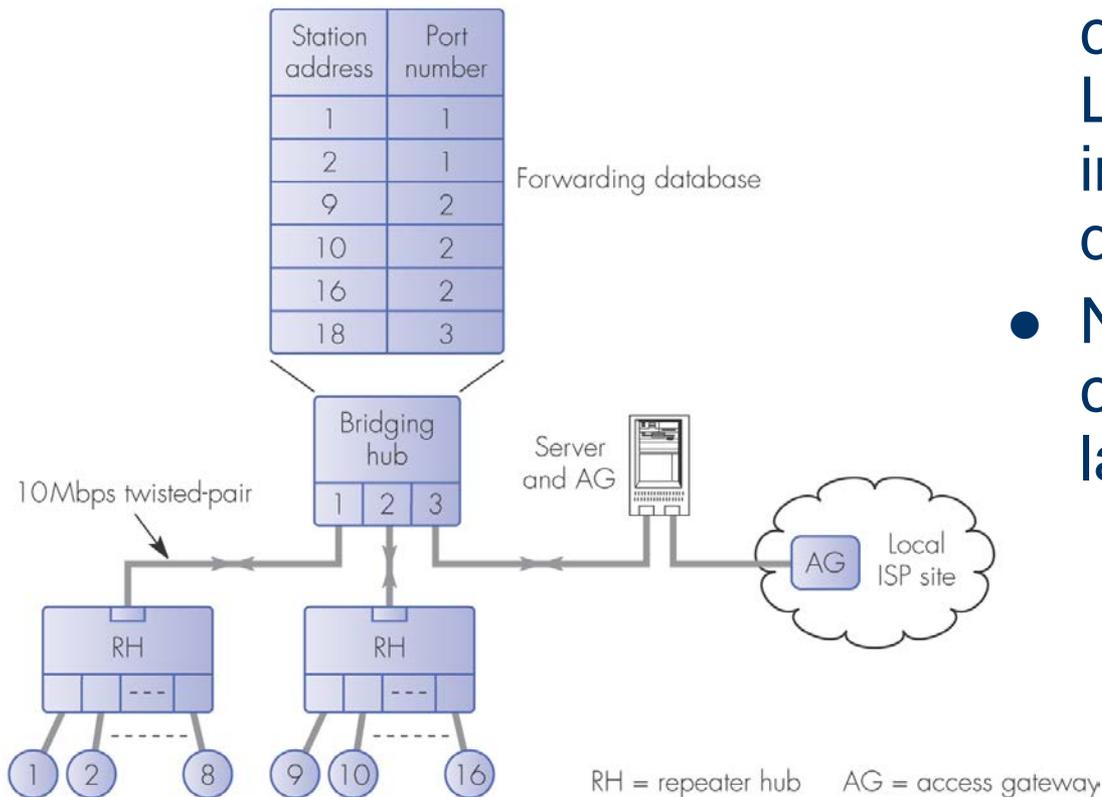
- Se arriva un pacchetto in cui gli indirizzi di sorgente e destinazione sono nella stessa rete li scarta (es A e B, si sono già visti)
- Se gli indirizzi sono in reti diverse, lo inoltra alla rete di destinazione (da A a C)
- Se l'indirizzo non appartiene ad un nodo conosciuto lo inoltra a tutte le reti
- Se l'indirizzo è del tipo "broadcast" lo inoltra a tutte le reti





Learning Bridge

(b)



- Il bridge è un dispositivo che opera a livello 2 (Data Link Layer) e divide la rete in due domini di collisione diversi.
- Non ci possono essere collisioni tra stazioni ai due lati del bridge



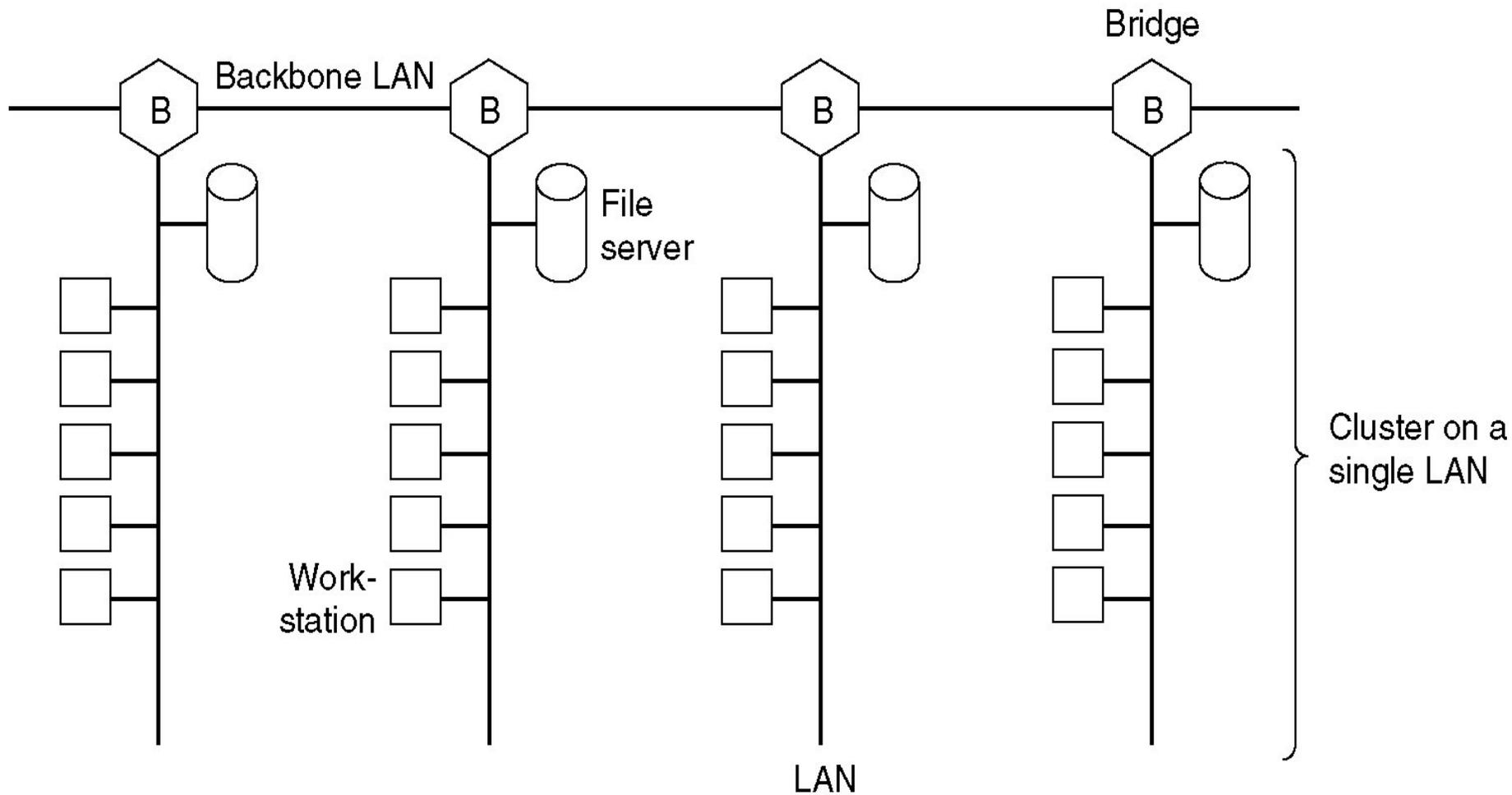
Separare domini di collisione



- Dipartimenti diversi hanno la propria LAN e la gestiscono separatamente senza turbare altri
- Quando la LAN ha grande estensione conviene separarla in piccole LAN interconnesse da bridge e collegamenti laser (fibra)
- Devo separare le LAN per suddividere il carico totale, secondo la località del traffico
- Affidabilità: in una LAN un nodo guasto manda in giro uno stream di bit dannosi. Lo posso isolare
- Security. Una macchina in modo promiscuo può sniffare solo dentro un dominio di collisione

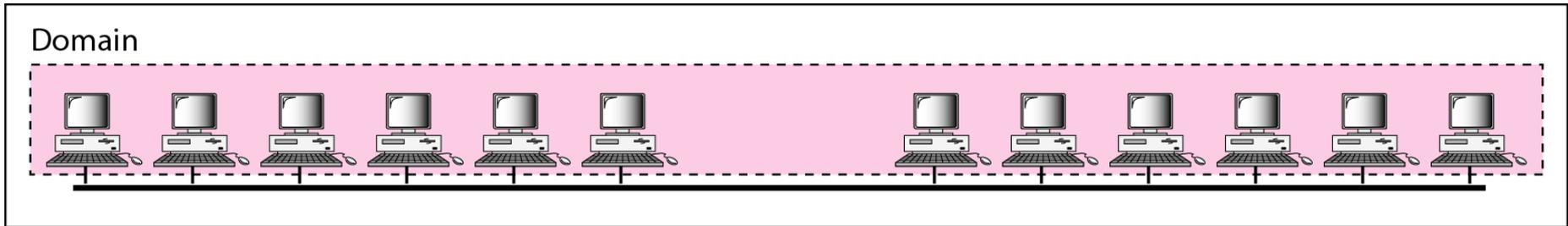


Separazione di traffico

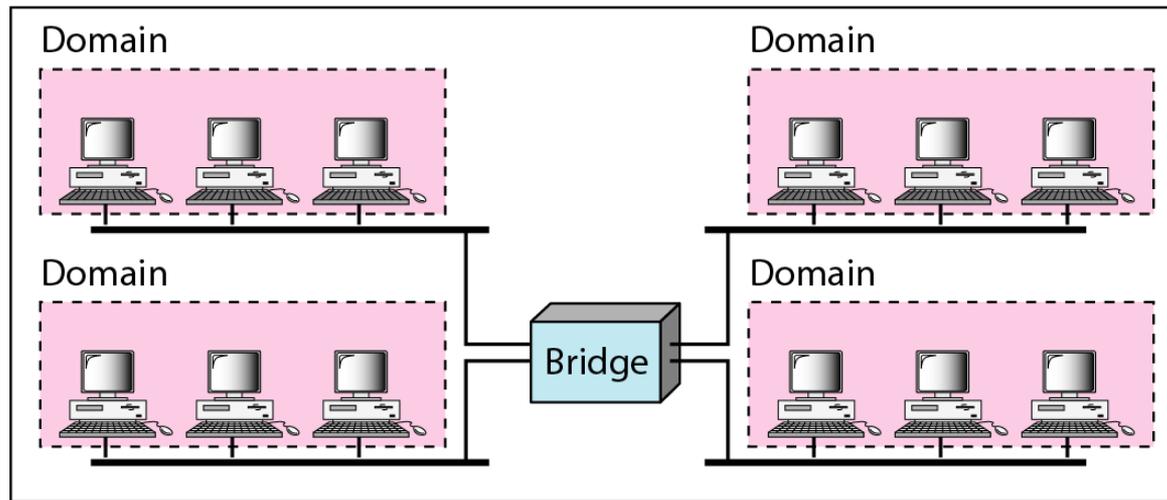




Reti con e senza bridge



a. Without bridging



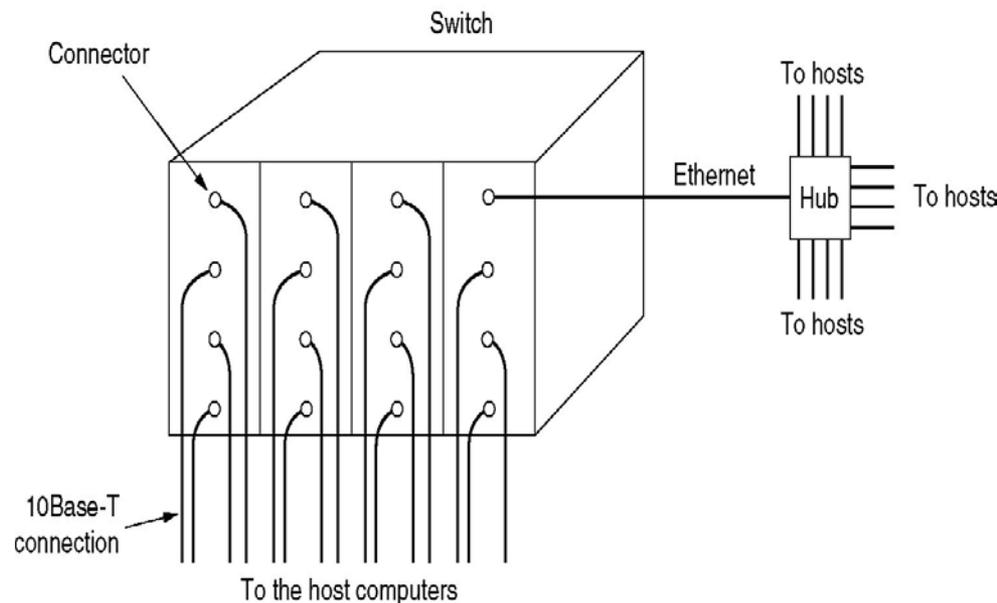
b. With bridging



Switches



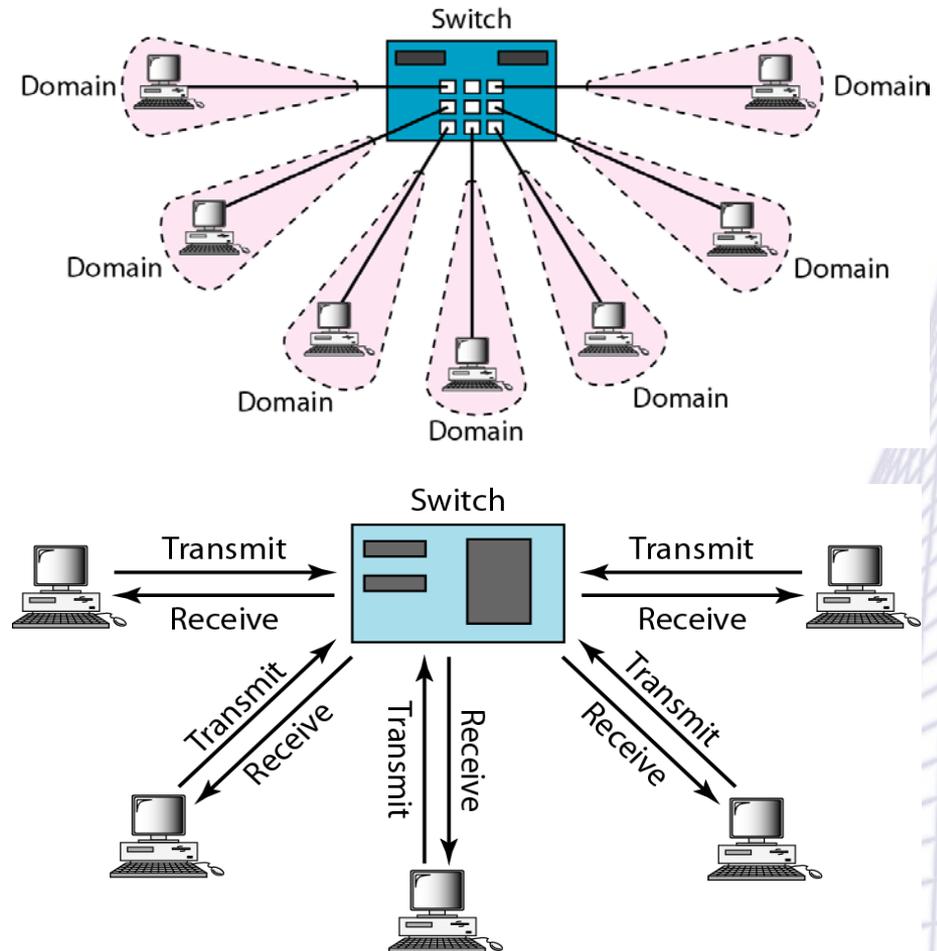
- Un bridge con molte porte viene detto Switch e può avere anche una sola macchina per segmento (conviene, ora che il costo per porta è molto ridotto)
- Con una sola macchina per porta le collisioni sono impossibili e le prestazioni migliorano
- Se ogni porta ha un buffer per tenere i pacchetti in arrivo e in partenza, tutte le porte possono trasmettere e ricevere frames nello stesso momento permettendo operazioni parallele **full-duplex**, posso quindi avere 10+10 Mbps di banda effettiva





Reti con switch

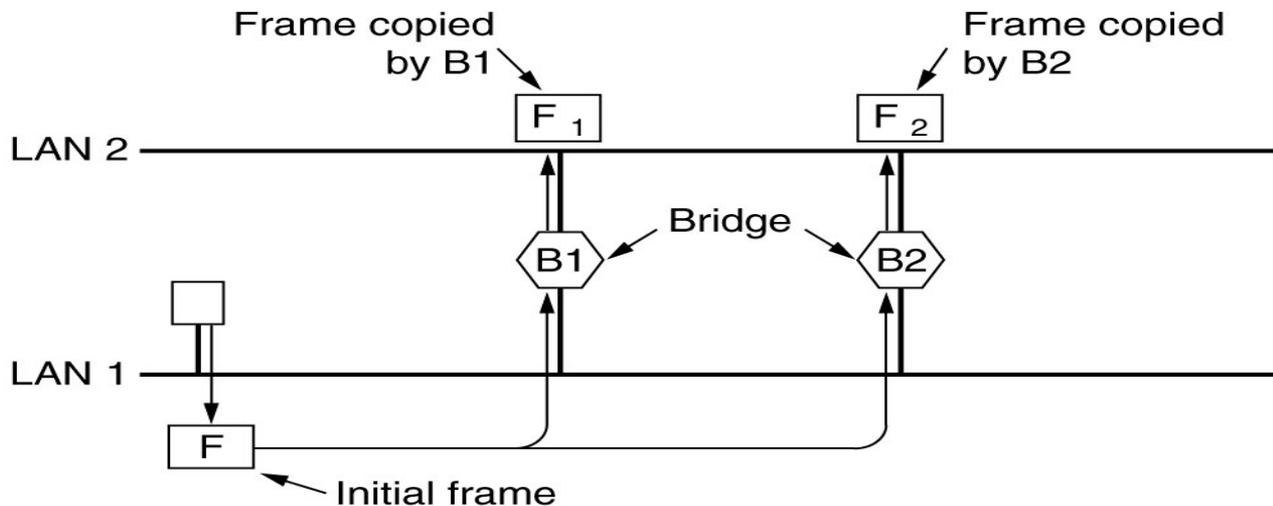
- Lo switch equivale ad un bridge con molte porte. Per ogni porta un dominio di collisione
- Se abbiamo un solo computer connesso ad una certa porta possiamo usare il link in full duplex, dal momento che non dobbiamo controllare eventuali collisioni





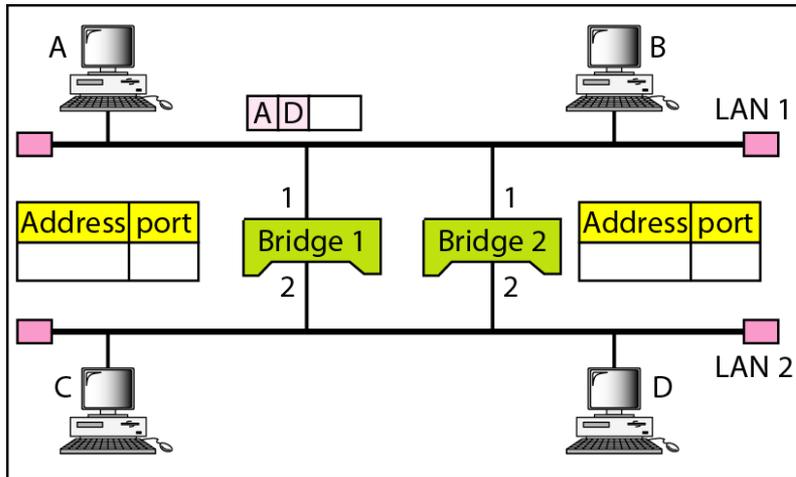
Loop tra bridge

- Per avere maggiore affidabilità posso collegare due o più bridge in parallelo tra coppie di LAN, ma mi creo loops nella topologia della rete
- Ognuno dei due bridge vede il pacchetto a **destinazione ignota** nella LAN1 e lo manda alla LAN2. OK è corretto
- Poi però B1 vede F2 e lo manda a LAN1 generando F3 e B2 vede F1 e lo manda a LAN1 generando F4 e il ciclo si ripete

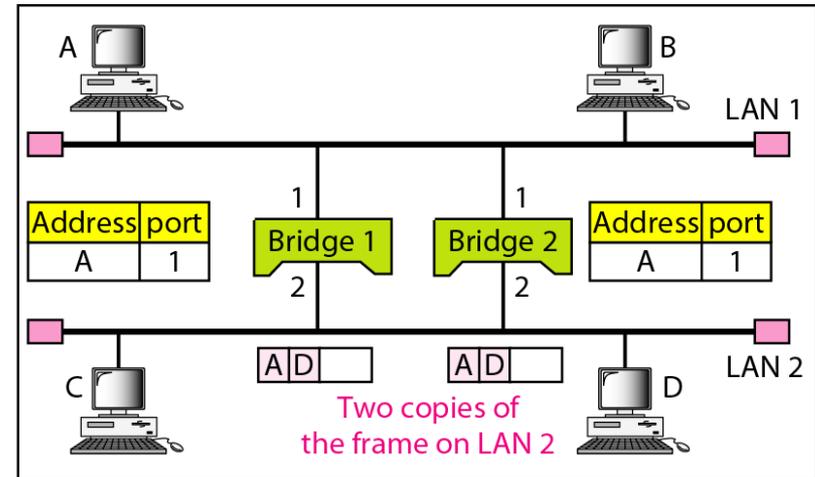




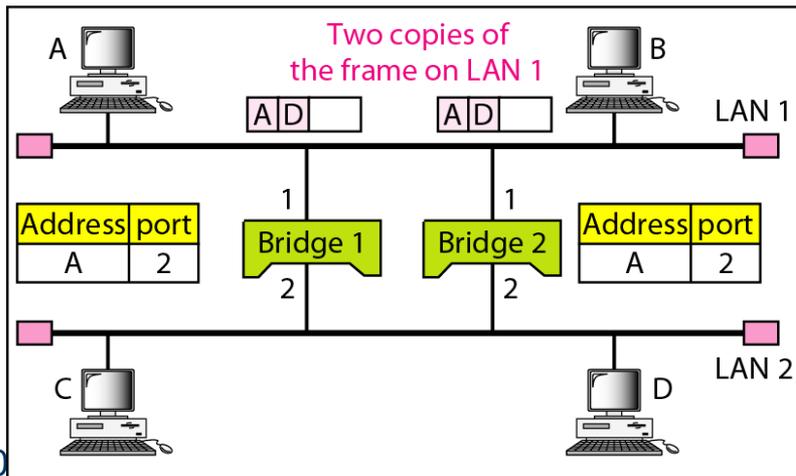
Loop tra bridge



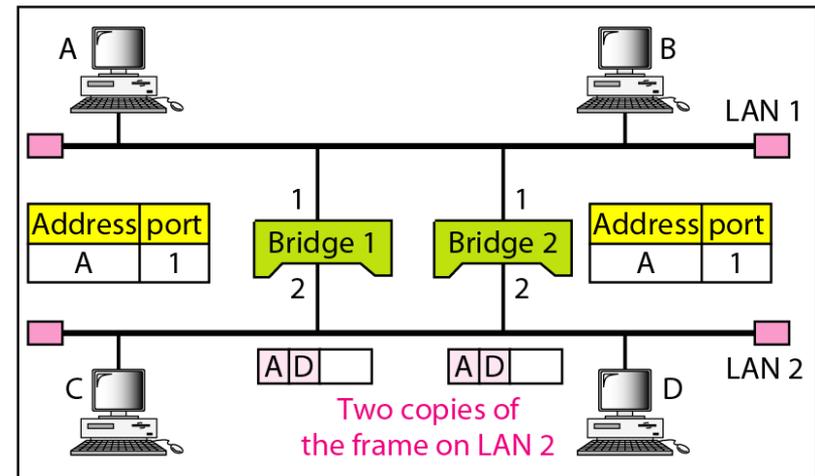
a. Station A sends a frame to station D



b. Both bridges forward the frame



c. Both bridges forward the frame

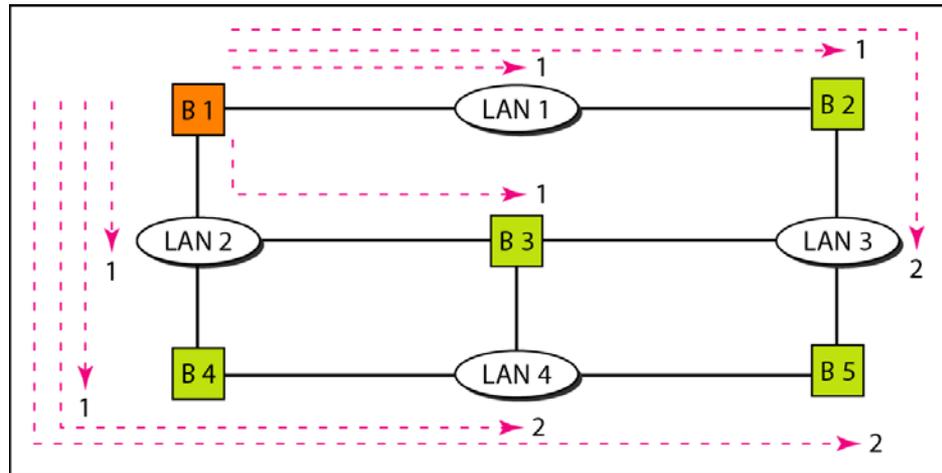


d. Both bridges forward the frame

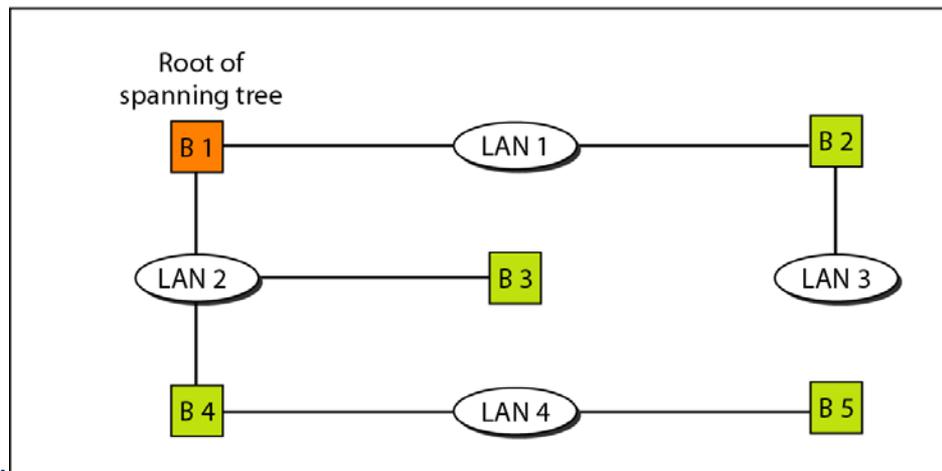


Spanning tree

- La stazione eletta come master calcola gli **shortest path**
- Tutti gli altri link vengono potati e si arriva ad una struttura ad albero
- L'albero viene costruito in modo automatico dai bridge che hanno moduli sw appositi, scambiandosi messaggi speciali



a. Shortest paths



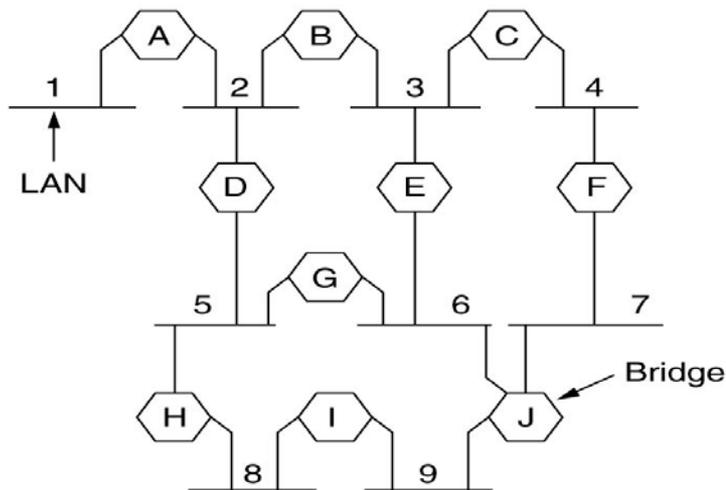
b. Spanning tree



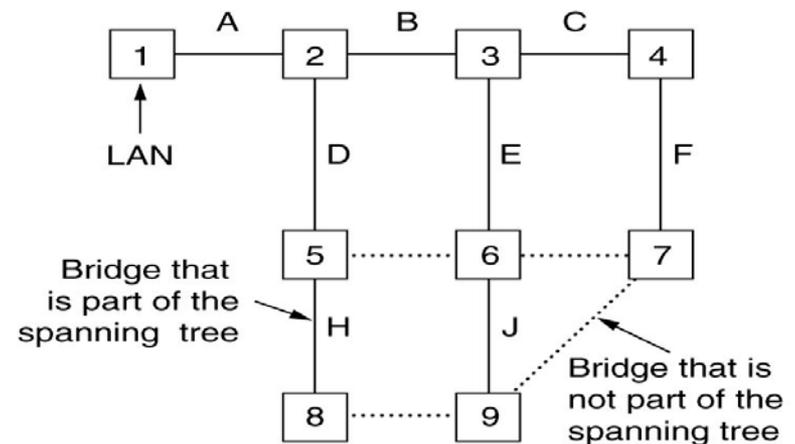
Algoritmi Spanning Tree



- I bridge devono comunicare gli uni con gli altri e sovrapporre alla topologia attuale uno spanning tree
- In pratica alcune connessioni tra LAN vengono ignorate
- Per fare questo i diversi bridge ne devono scegliere uno come root del tree (il bridge con il numero seriale più basso vince)
- L'algoritmo (standard 802.1D) continua a girare anche in seguito per vedere se ci sono cambiamenti topologici e aggiornare l'albero.



(a)



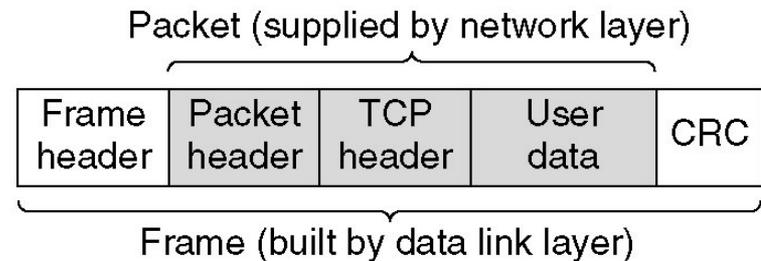
(b)



Device e layer

Application layer	Application gateway
Transport layer	Transport gateway
Network layer	Router
Data link layer	Bridge, switch
Physical layer	Repeater, hub

(a)



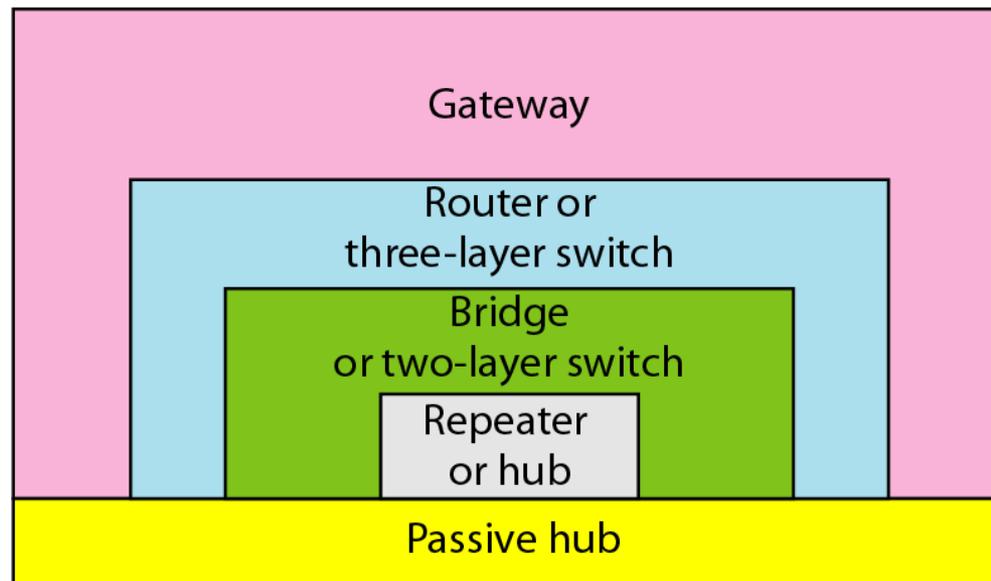
(b)

- Ogni device decide diversi pezzi di informazione per decidere come commutare
- a) ad ogni layer il suo device
- b) frames, pacchetti e headers



5 tipi devices

Application
Transport
Network
Data link
Physical

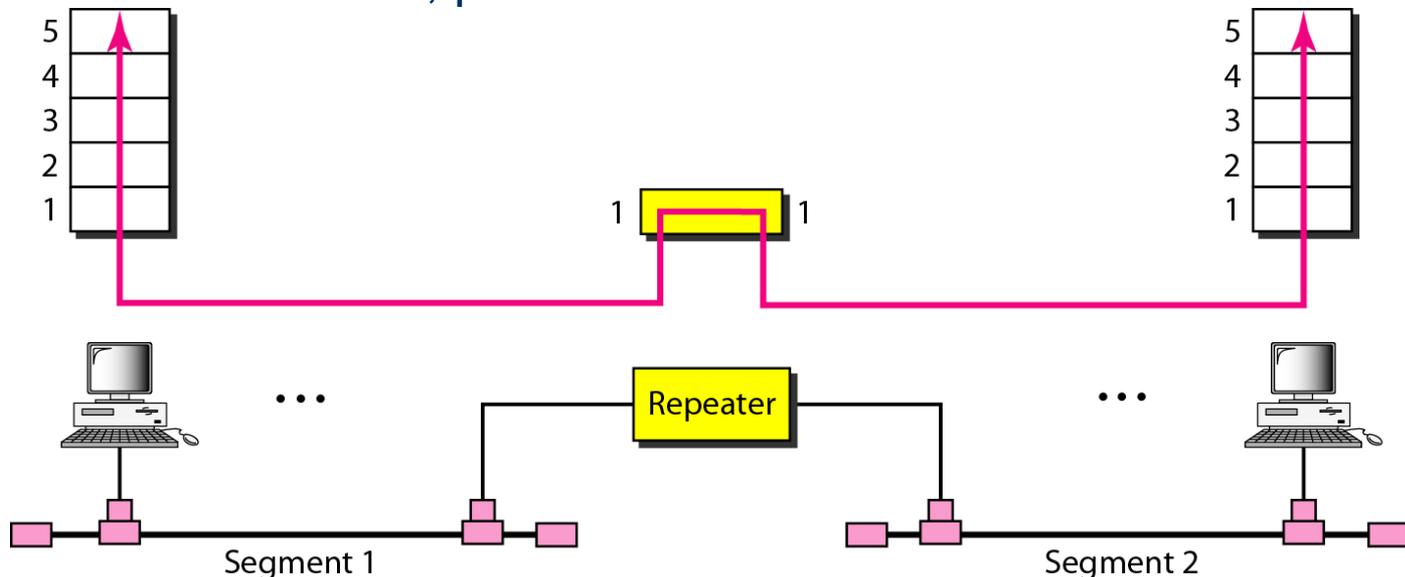


Application
Transport
Network
Data link
Physical



Repeater

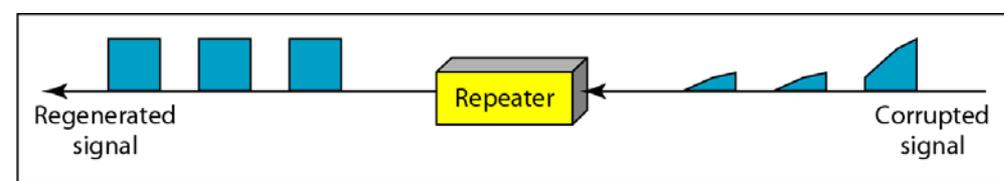
- Sono oggetti analogici che connettono due segmenti di cavo.
- Un segnale viene preso da un segmento, amplificato e rimesso sull'altro segmento
- I ripetitori non capiscono nulla di frame, pacchetti, headers. Capiscono solo i livelli di tensione.
- Con Ethernet si possono mettere fino a quattro repeater per estendere il range da 500 a 2500 metri, poi interviene il limite dovuto alle collisioni



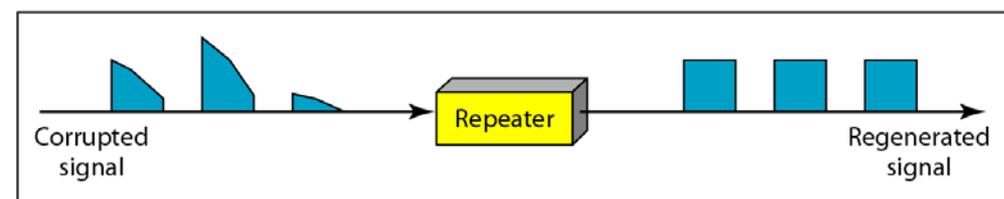


Hub

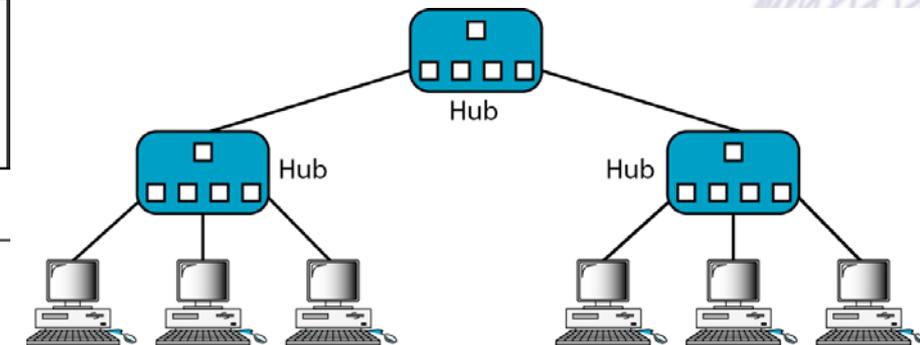
- Un HUB ha un certo numero di linee di input
 - Le frame che arrivano su una linea vengono mandate su tutte le altre
 - Se arrivano due frame insieme, queste collidono come su di un coassiale. È un unico dominio di collisione
 - Tutte le linee devono operare alla stessa velocità
 - Se vedete un hub 10/100 vuol dire che in realtà ci sono due hub, uno a 10 e uno a 100 con un bridge in mezzo



a. Right-to-left transmission.



b. Left-to-right transmission.





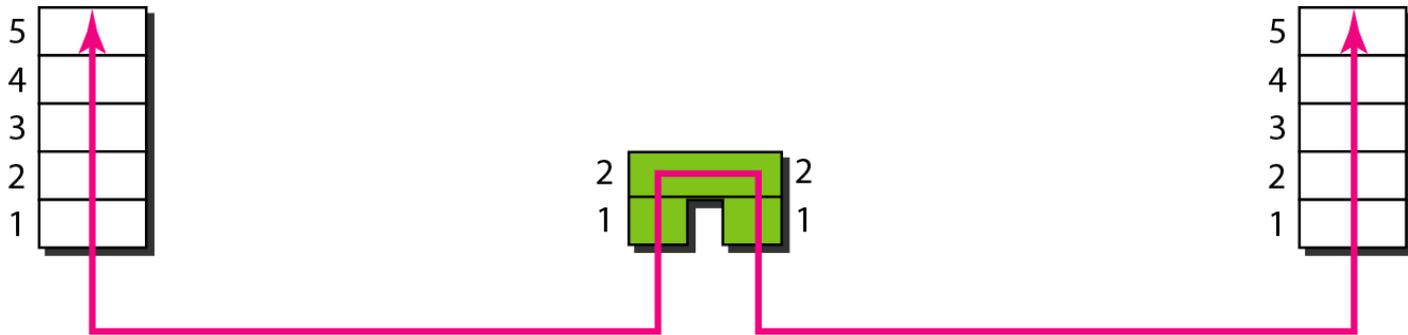
Bridge



- Ora siamo a livello datalink
 - Quando il frame arriva c'è del software che capisce l'indirizzo di destinazione, guarda una look-up table per vedere dove lo deve mandare
 - Ogni link ha il suo dominio di collisione
 - Se le linee sono Ethernet il bridge Ethernet non sa trattare frame diversi (Es token ring) non sapendo come ricavare l'indirizzo di destinazione dal frame

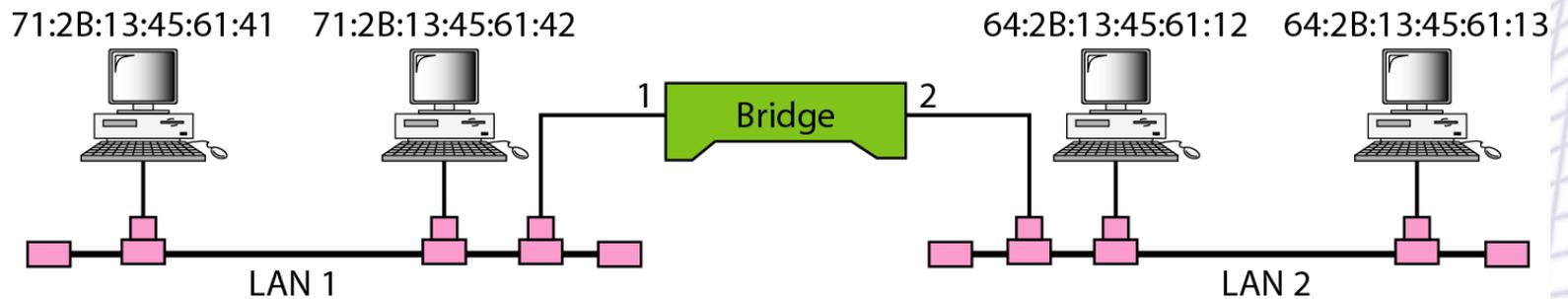


Bridge



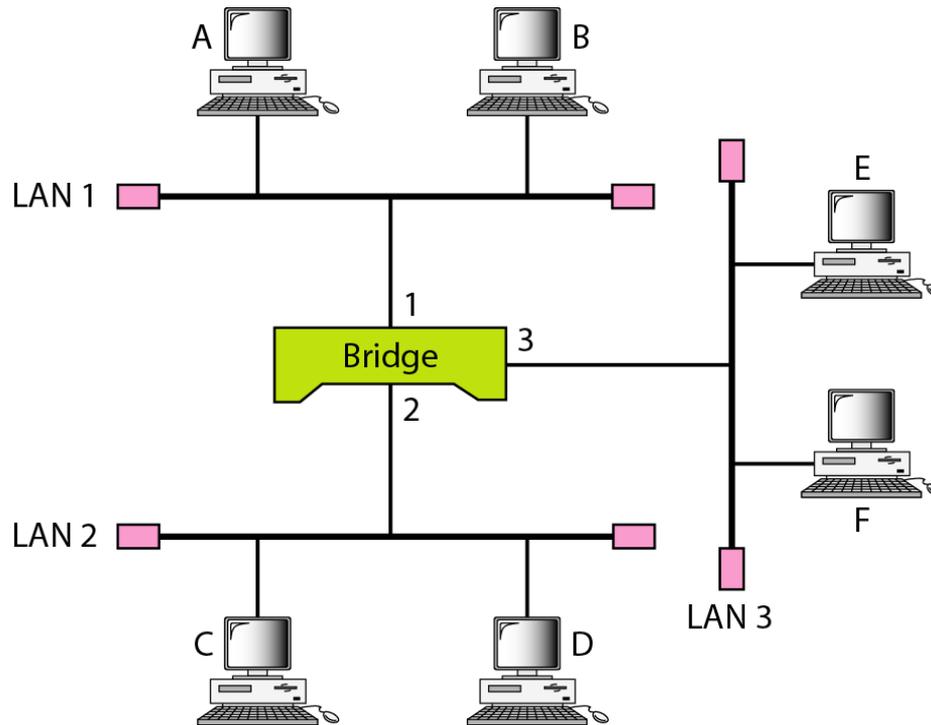
Address	Port
71:2B:13:45:61:41	1
71:2B:13:45:61:42	1
64:2B:13:45:61:12	2
64:2B:13:45:61:13	2

Bridge Table





Learning Bridge



Address	Port

a. Original

Address	Port
A	1

b. After A sends a frame to D

Address	Port
A	1
E	3

c. After E sends a frame to A

Address	Port
A	1
E	3
B	1

d. After B sends a frame to C



Switch



- Un bridge con oltre due porte viene detto switch
- Uno switch potrebbe avere porte a diverse bandwidth.
 - Es diverse porte a 10 e uplink a 100
- Potrebbe anche avere porte (o schede) che supportano diversi protocolli L2 (es Ethernet e uplink FDDI, o Ethernet e Token ring)

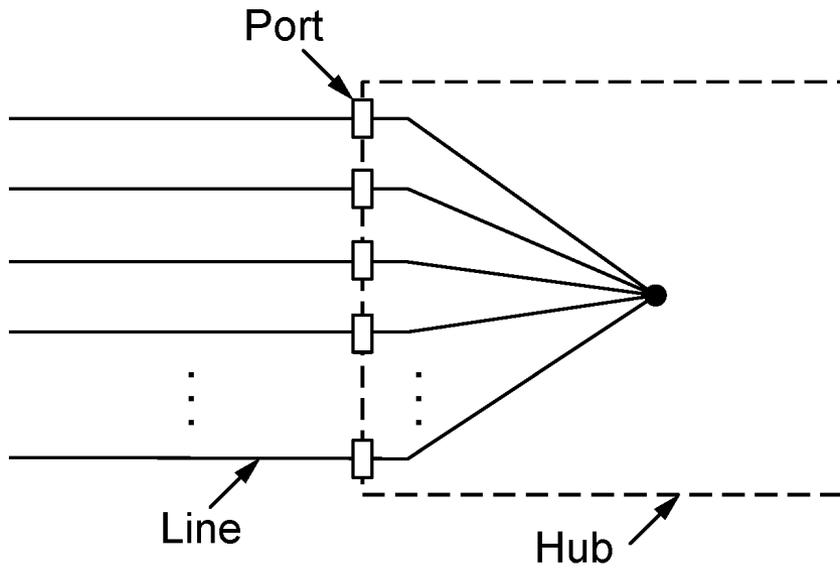


Cut-through

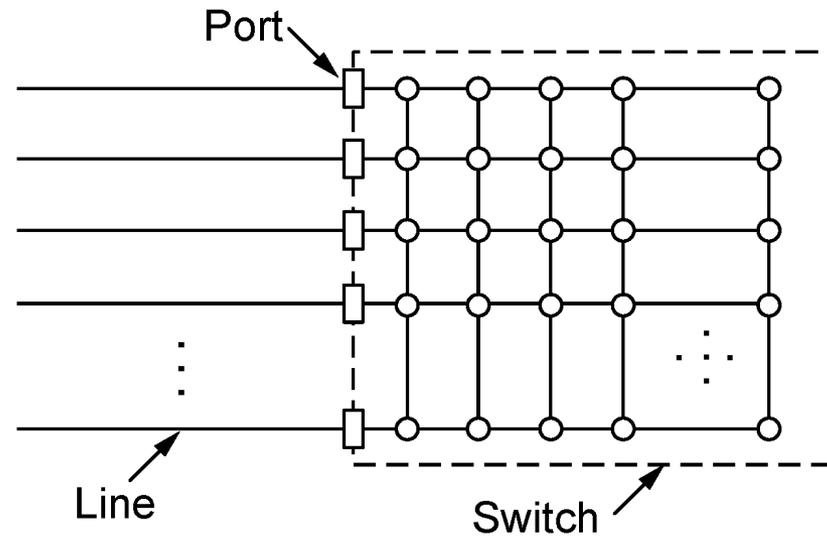
- Se i frame arrivano più velocemente di quanto partono lo switch può essere costretto a scartarne, se ne ha i buffer pieni
- Per questo alcuni switch non agiscono in modalità **store-and-forward** (con cpu e software) ma direttamente in hardware (chip ASIC) **forwardano** il pacchetto non appena la destinazione è nota (modalità **cut-through**)



Hub e Switch



(a)



(b)

(a) Hub. (b) Switch.



Router



- Il router agisce a livello Network
 - Quando il pacchetto arriva, vengono tolti header e trailer e viene mandato il pacchetto al sw di routing
 - Questo usa l'header del pacchetto per trovare la linea di output
 - Per il pacchetto IP l'header contiene un indirizzo a 32bit (IPv4) o 128bit (IPv6), non l'indirizzo MAC a 48 bit visto finora



Gateway



- Al livello superiore troviamo i transport gateways
 - Vengono usati per connettere computer con due protocolli di trasporto diversi
 - Es una rete TCP/IP con una rete ATM
 - Il gateway deve capire entrambi i protocolli, prendere il pacchetto da una parte e riformattarlo secondo il bisogno
- Possono essere anche a livello superiore
 - Capiscono un formato e contenuto di messaggi di dati e lo trasformano in un altro.
 - Es un gateway tra posta elettronica e messaggi SMS



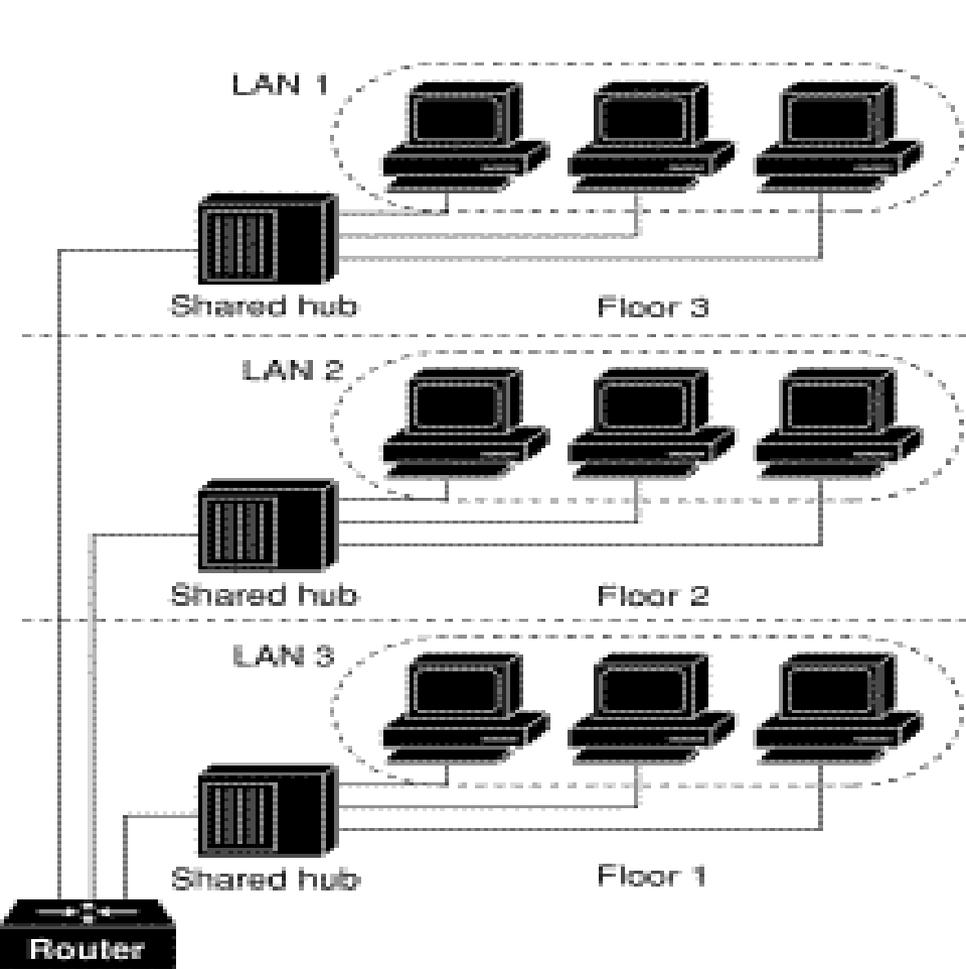
LAN Logiche

- Possiamo separare le LAN con gli switch ma siamo legati alla disposizione fisica
- Posso voler separare le LAN per funzione
 1. Security: i dati amministrativi non siano sniffabili da quelli del reparto ricerca che sono degli smanettoni
 2. Carico: Un gruppo che satura la sua LAN non deve bloccare il lavoro di altri gruppi
 3. Limitare i broadcast (alcune applicazioni tendono ad esagerare) e i broadcast storm (un interfaccia si rompe e spara infiniti broadcast)
- VLAN, LAN virtuale definite via software
- NB, si creano dei domini di broadcast indipendenti dalla struttura fisica della LAN

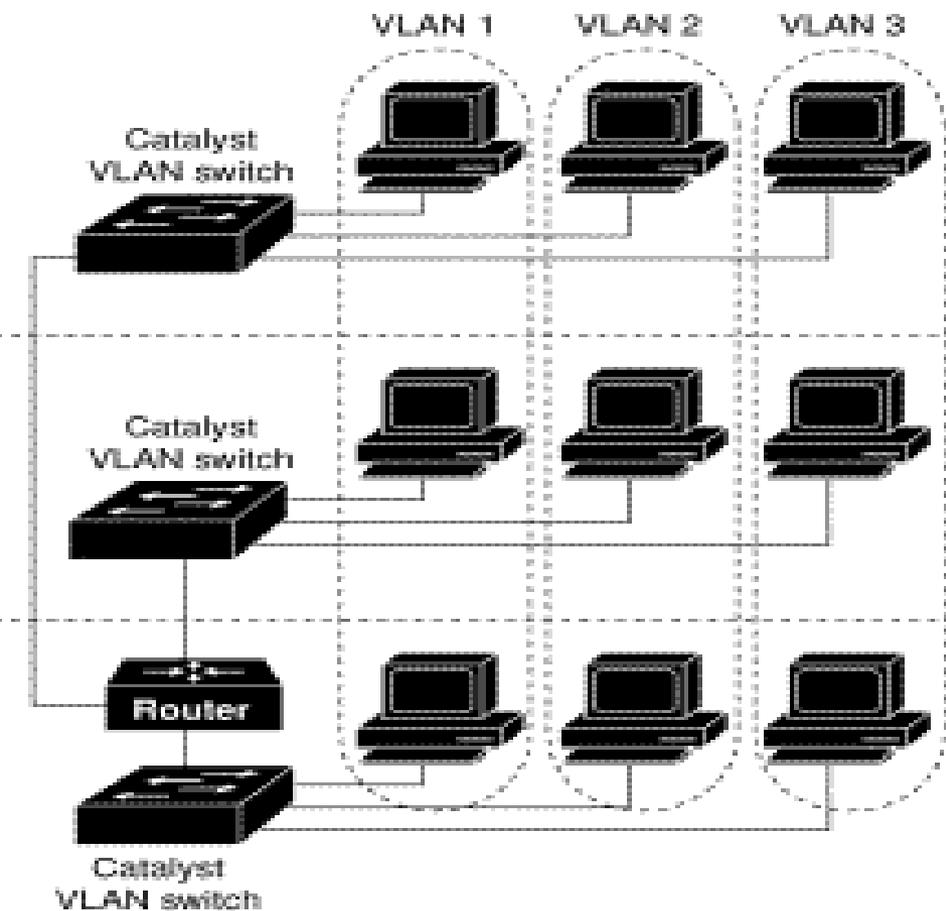


LAN Logiche

Traditional LAN segmentation



VLAN segmentation

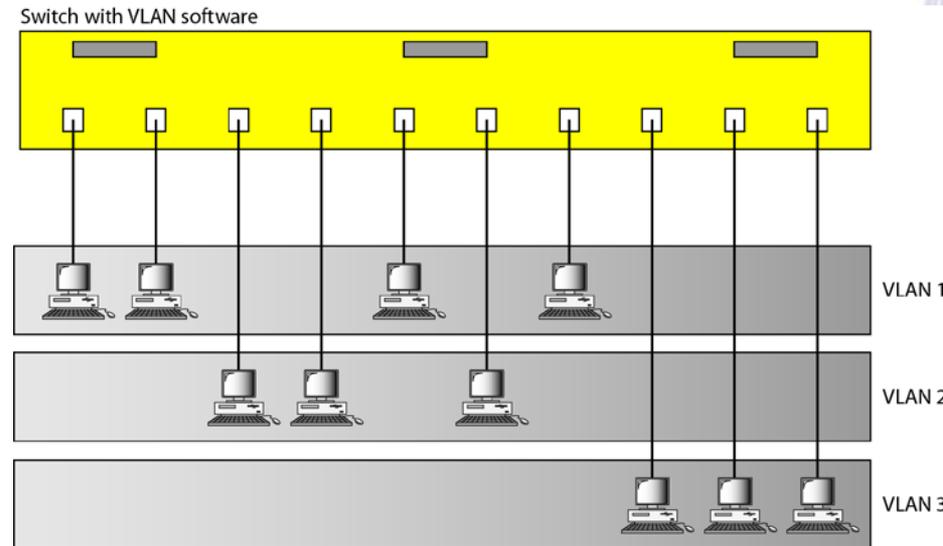




VLAN



- Speciali Switch riconoscono le VLAN
- Sono spesso definite informalmente per colore, permettendo di costruire diagrammi di rete con diversi colori
- Le VLAN vengono definite dall'amministratore di rete secondo diversi criteri





Criteri per VLAN

- VLAN per porta: Le diverse porte degli switch vengono divise tra diverse VLAN (1,2,3 e 7 amministrazione, 4, 10 e 12 ricerca, 5, 6 corridoio, 8, 9 per le basi wireless)
- VLAN per protocollo di livello 3 (IP vs Appletalk) o per indirizzo IP
 - Questo viola una regola fondamentale del networking: l'indipendenza dei layers. Non sono affari del livello datalink i contenuti dei campi di payload. Se cambia il protocollo network, esempio da IPv4 a IPv6 la VLAN non funziona più.
- VLAN per SSID nel wireless
- VLAN per mac-address
 - quando un laptop viene spostato di porta in porta rimane nella stessa VLAN
- VLAN per autenticazione
 - VLAN jail: tutti i mac-address (o solo quelli non noti) stanno in una VLAN che non può accedere al resto della rete e/o a internet ma solo ad un portale web, in seguito ad autenticazione vengono spostati nelle VLAN aperta



IEEE 802.1Q



- Per risolvere il problema bisognerebbe poter identificare la VLAN dal header del frame
 - Nel 1985 successe l'impensabile, venne modificato l'header, contenente un tag VLAN e pubblicato nel 1988 come standard 802.1Q
- Problema
 - Dobbiamo buttare tutte i milioni di card Ethernet esistenti?
 - Chi genera i nuovi campi?
 - Cosa facciamo con i frame che sono già alla dimensione massima?



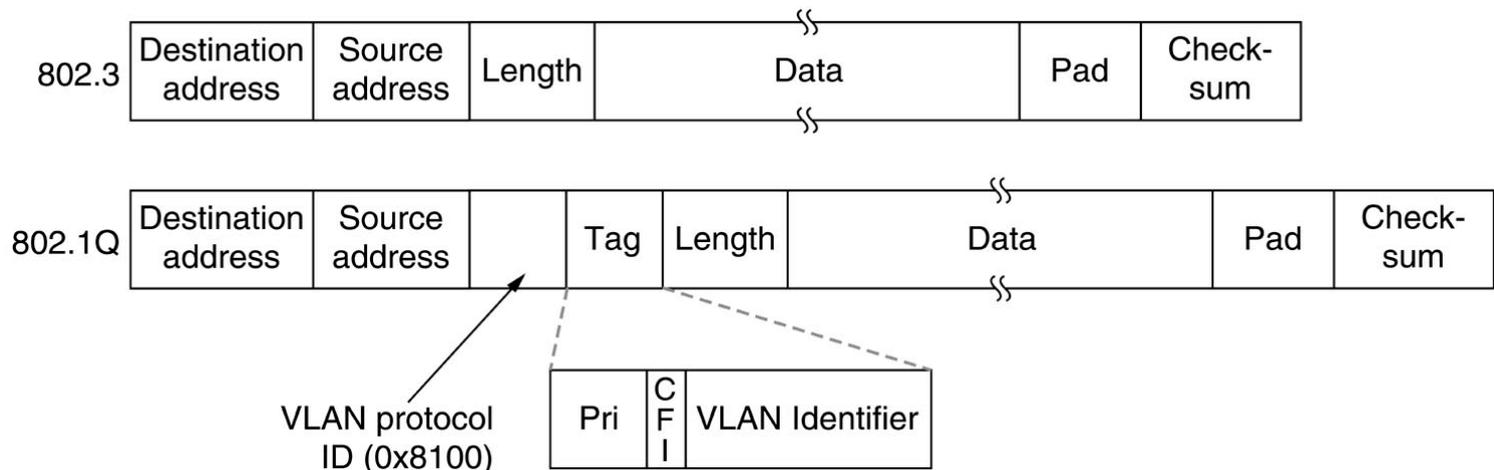
Soluzione

- I campi VLAN sono usati solo dagli switch (o bridge) non dalle macchine
- Non occorre che siano presenti nelle linee fino alle macchine ma solo nelle linee tra gli switch, quindi solo gli switch devono essere VLAN-aware (ma questo era comunque necessario)
- Quindi se ci sono macchine compatibili 802.1Q queste usano il VLAN tagging, altrimenti questo viene inserito (per porta o mac-address o altro) dal primo switch incontrato e rimosso dall'ultimo
- La lunghezza del frame viene portata da 1518 a 1522 Bytes



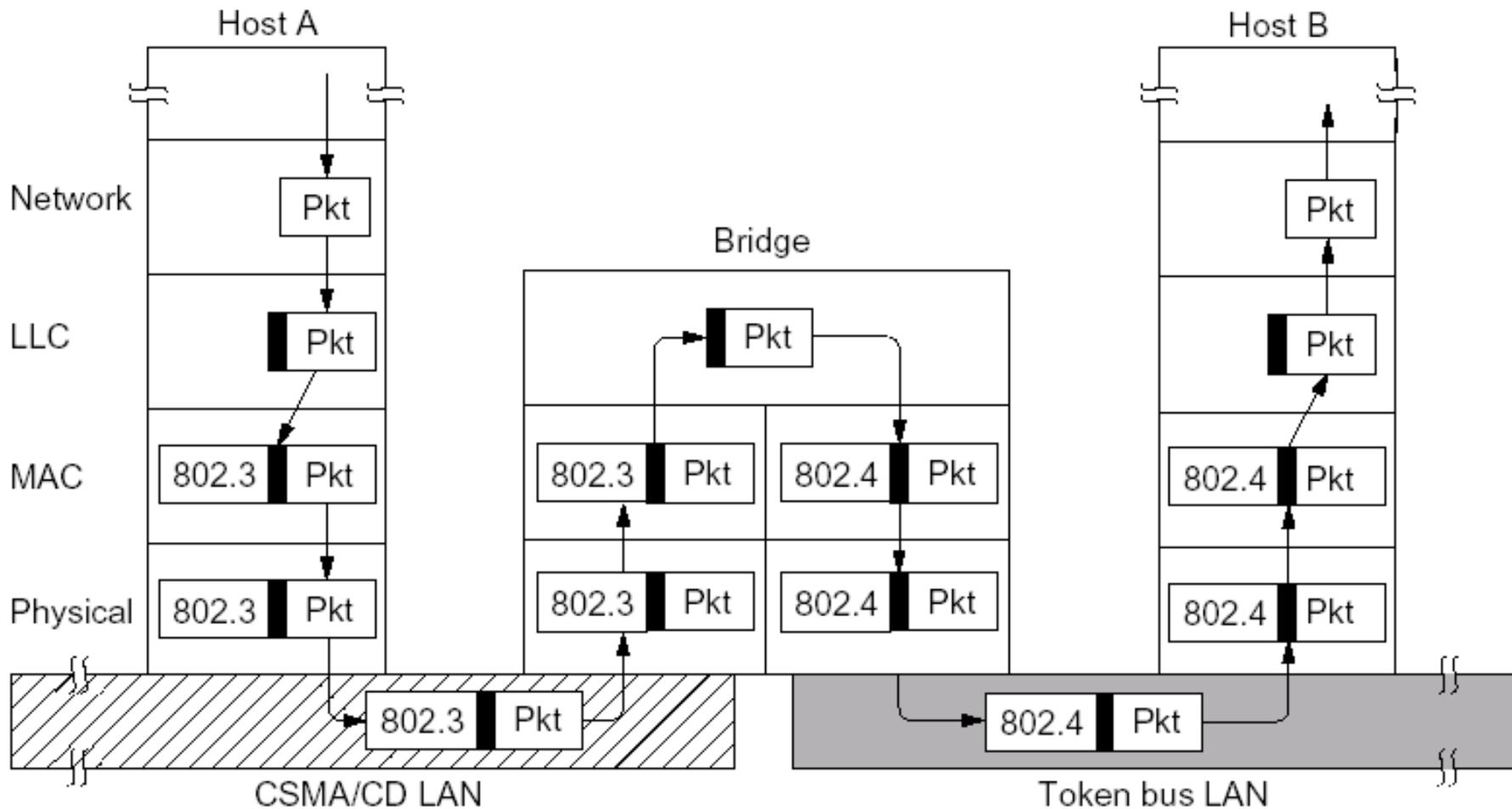
Nuovi frame

- Il campo Length/Type contiene 0x8100 interpretato come tipo (non può essere una length valida)
- Campo Pri 3 bit che non hanno a che fare con VLAN ma già che si stava modificando lo standard sono stati inseriti. Magari si potrebbe usare differenziare traffico Ethernet bulk da quello real time
- Campo CFI Canonical Format Indicator 1bit, pensato in origine per differenziare tra indirizzi MAC in formato little-endian big-endian, ora viene usato quando il payload contiene un frame 802.5, quindi per fare tunneling di 802.5 su reti Ethernet
- Infine l'ultimo è per l'identificativo della VLAN (il colore)





Bridge tra 802.x e 802.y





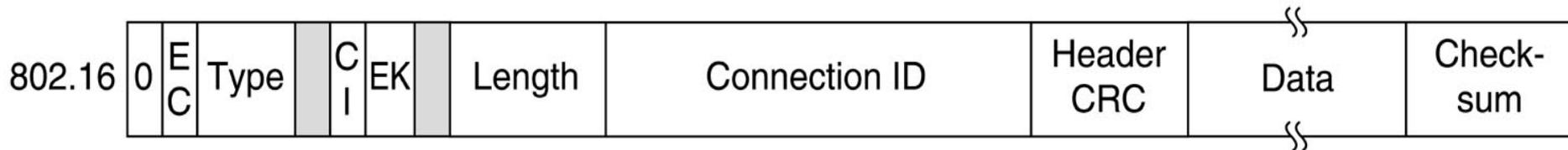
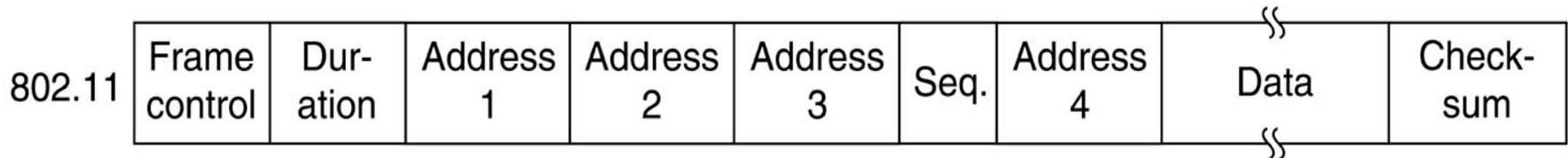
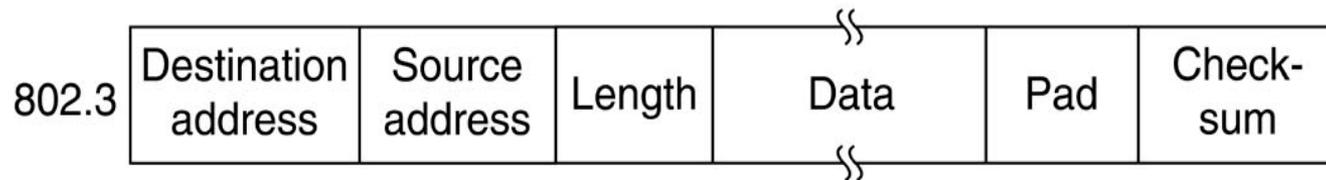
Bridge eterogenei



- Sembrerebbe facile perché tutti condividono la parte alta di datalink: LLC
- Problemi
 - Ogni LAN ha un diverso formato di frame, quindi ogni copia richiede reformatting (tempo di cpu, nuovi checksum)
 - Le diverse LAN possono avere data rate diversi, quindi necessita di bufferizzazione
 - Possono avere anche diversi max frame lengths, ma a questo livello non si riassemblano i frame, per cui i frame troppo lunghi vengono scartati. **Quindi devo limitare le reti con MTU grande al valore minimo di MTU in rete.**
 - Security: 802.11 e 802.16 supportano encryption mentre 802.3 no. O rinuncio alla encryption o rinuncio al bridging su Ethernet



Diversi frame format





Confronto tra 802.(3,4,5)



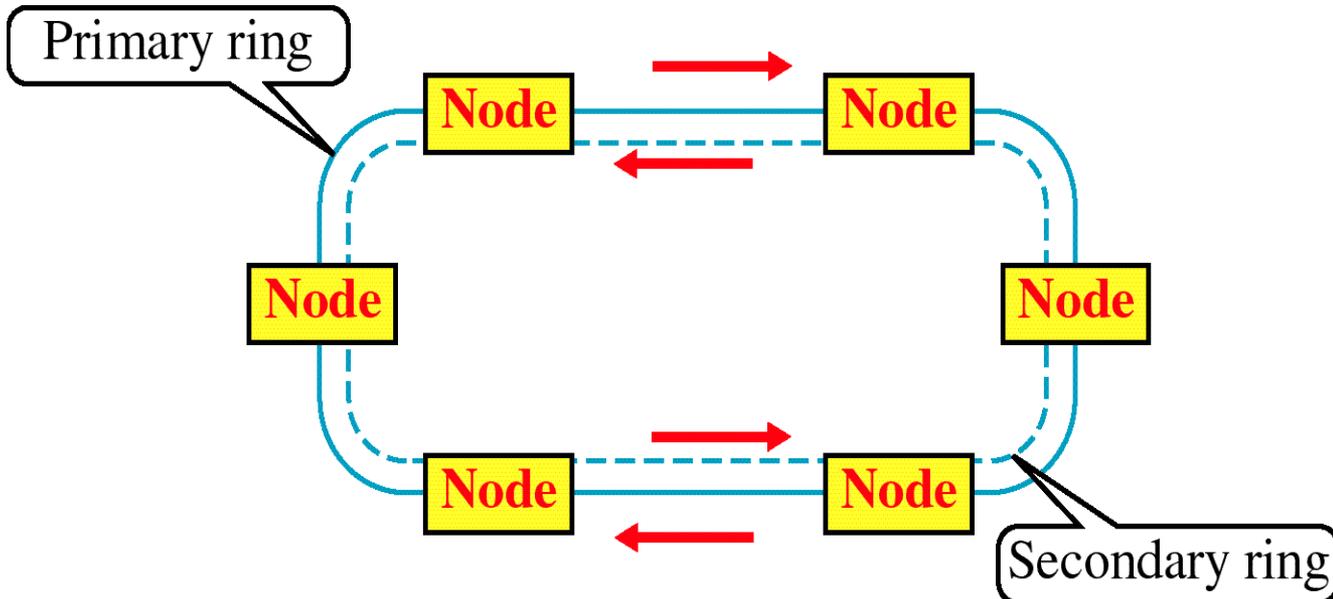
- 802.4 Token Bus:
 - General Motors: permette di assegnare priorità alle diverse stazioni. 1,5,10 Mbps su cavi a 75 ohm
- 802.5 Token Ring
 - IBM: Configurazione ad anello ma connessioni ad hub, 1,4,16 Mbps
- Vantaggi di 802.3: Diffusissimo → Economico, Molto facile da implementare, compatibile con telefoni.
- Svantaggi: non deterministico, non adatto a real-time
- In pratica si equivalgono. 802.3 ha vinto sul mercato per motivi economici e di semplicità



FDDI



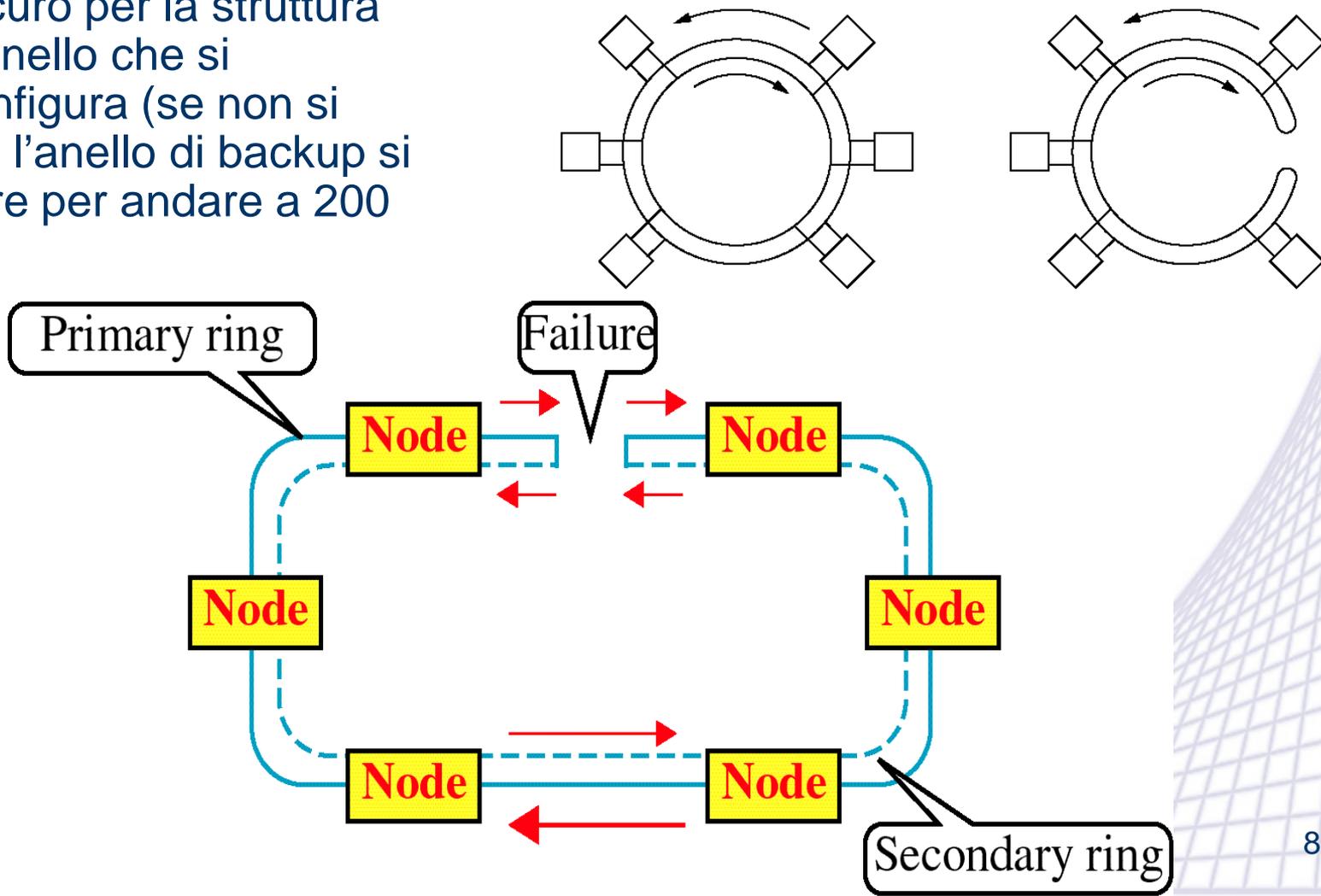
- FDDI – Fiber Distributed Data Interface
- Un doppio token ring ad alte prestazioni su fibra ottica a 100 Mbps fino a 200 km con fino a 1000 stazioni.
- Usato per connettere stazioni di tipo server ma soprattutto come backbone per connettere hub e switch ethernet o token ring a 10 Mbps quando era l'unica tecnologia a 100 Mbps. Invece oggi si usa Fast Ethernet – Gigabit Ethernet





Doppio anello

- Molto sicuro per la struttura doppio anello che si autoriconfigura (se non si desidera l'anello di backup si può usare per andare a 200 Mbps)

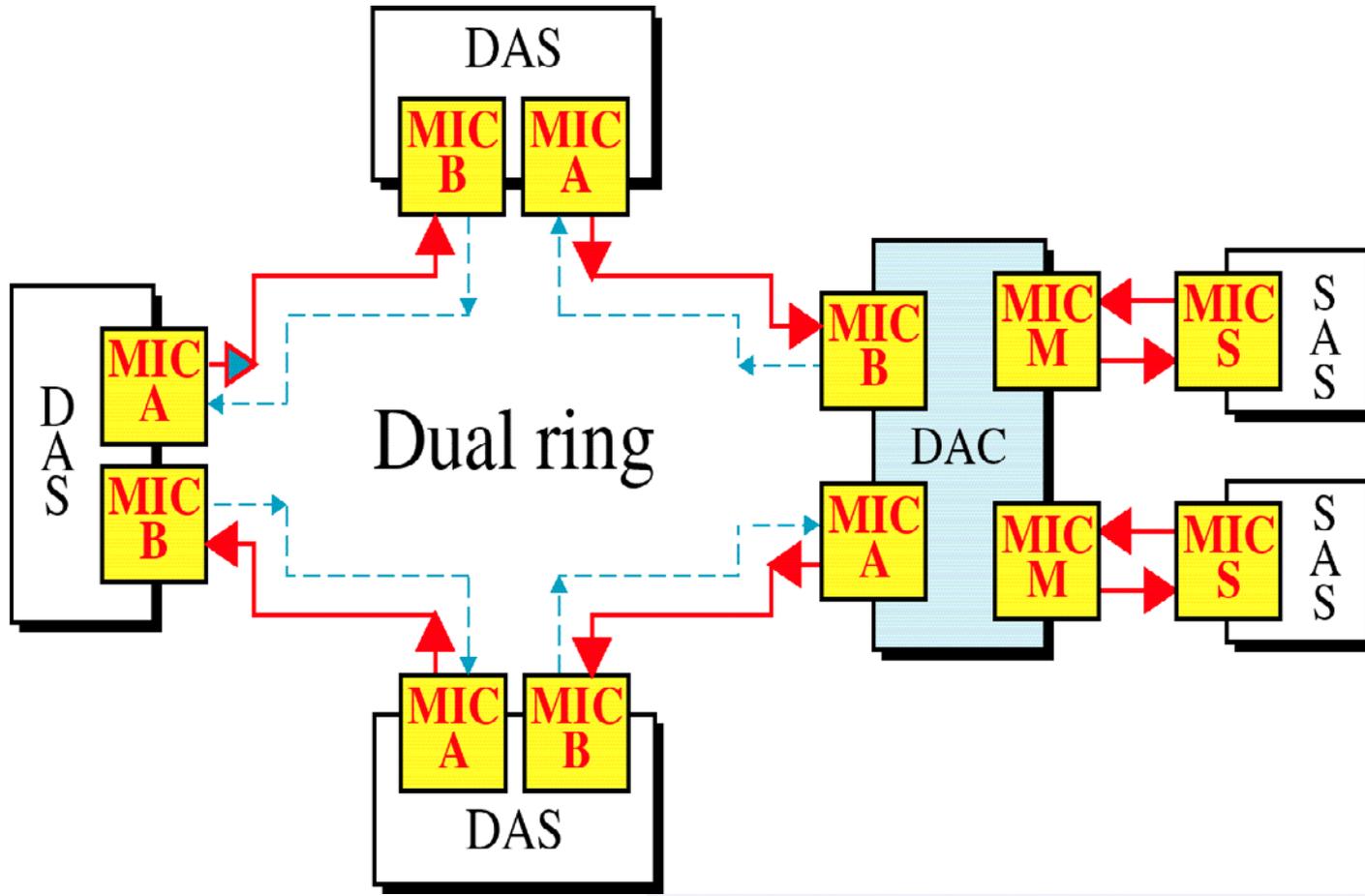




FDDI



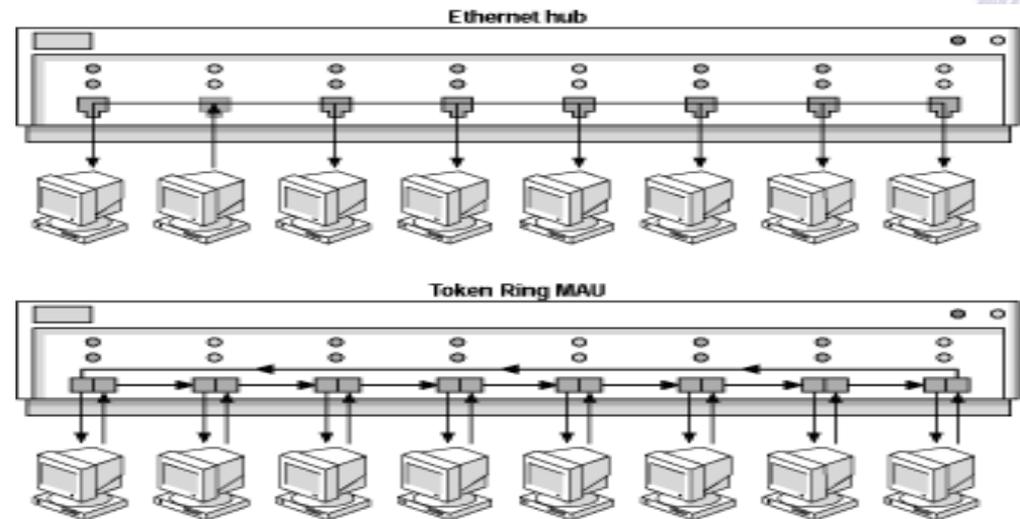
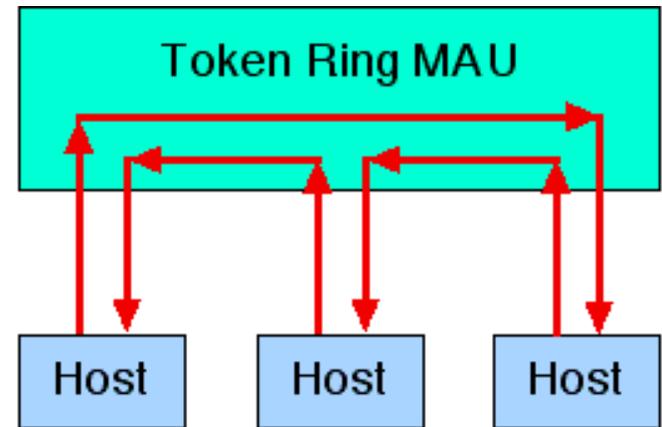
- Topologie reali come doppi anelli di hub. All'hub sono attaccate stazioni single attached. (SAS con connettori MIC S)





802.5 Token Ring

- Stazioni in topologia ad anello.
- Le stazioni trasmettono sequenzialmente usando un token di controllo che dà l'accesso all'anello.
- Fisicamente è una stella con hubs, cablaggio IBM con STP.
- Usa differential Manchester encoding





802.5 Token Ring



- Quando un computer deve mandare un messaggio inserisce un token in un frame vuoto (cambia da 0 a 1 un token bit) e inserisce un messaggio con identificatore del destinatario
- Il frame viene esaminato da ogni stazione. Se la stazione capisce di essere il destinatario copia il messaggio dal frame e rimette il token a 0
- Quando il frame torna al mittente, vede che il token è 0 e che il messaggio è stato ricevuto. Allora toglie il messaggio dal frame
- Il frame continua a circolare come frame “vuoto”, pronto per essere catturato da una stazione che ha un messaggio da spedire.
- Teoricamente più vantaggioso di Ethernet che usa accesso casuale, se l’anello non è troppo grande. Alle fine Ethernet (**Fast Ethernet**) ha vinto per le migliori prestazioni in ambiente switched e per i migliori prezzi dovuti ad economie di scala



802.3u Fast Ethernet

- Stesso formato di pacchetto, interfacce e regole, in pratica la vecchia Ethernet 10BaseT ma 10 volte più veloce, riducendo il bit time da 100 a 10 nsec.
- Si sarebbe potuto copiare anche 10Base-5 o 10Base-2 riducendo il diametro massimo ma era evidente che il doppino era più vantaggioso.
- Il Fast Ethernet è basato su hub e switch (niente coax etc...)

Nome	Cavo	Max. segment	Vantaggi
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Usa cavi category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex a 100 Mbps
100Base-F	Fiber optics	2000 m	Full duplex a 100 Mbps; distanza



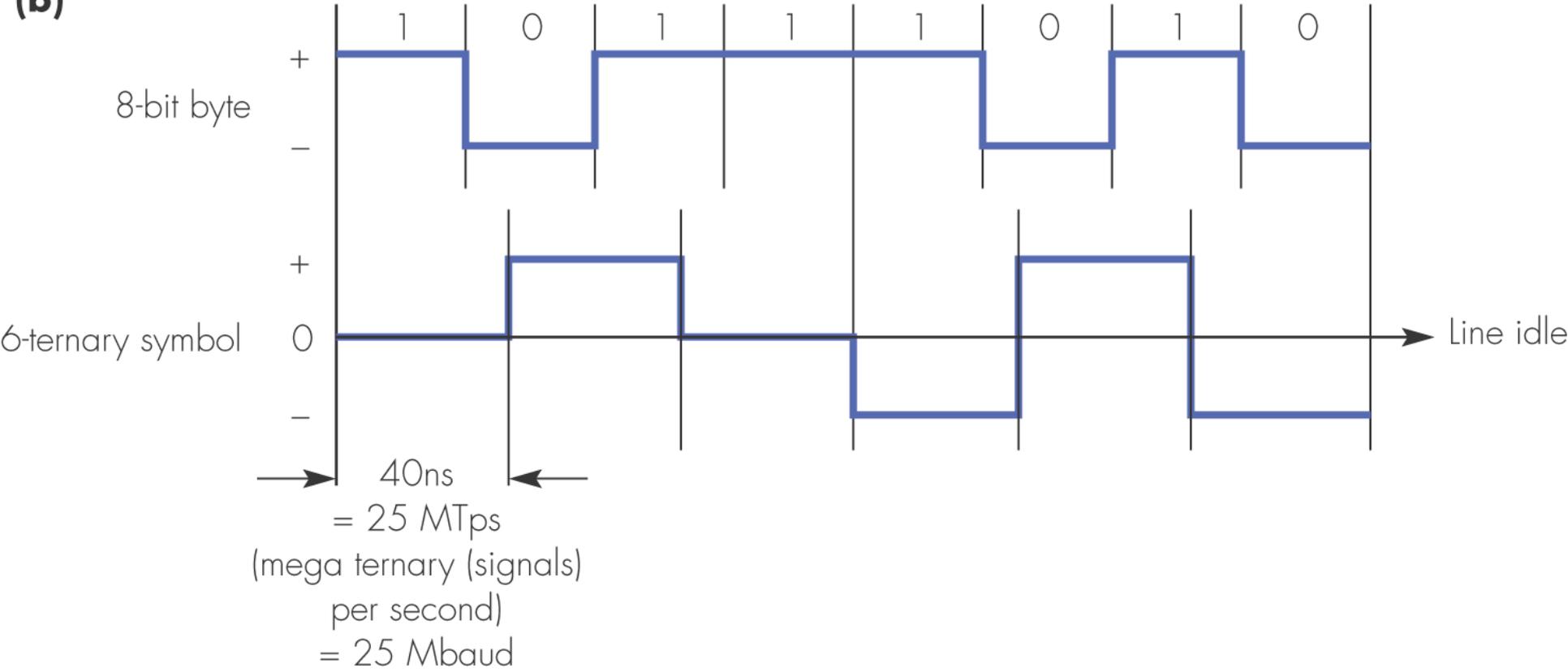
100Base-T4 - raro

- Il cavo cat 3 non riesce a portare 200 MBaud (100 Mbps con Manchester Encoding) per 100 metri. Il cavo cat 5 ci riesce ma vollero tenere i cavi cat 3 usando 4 coppie a 25 MHz (cfr 20 MHz di 10BaseT)
- 4 coppie, una verso l'hub, una dall'hub e le altre due commutabili secondo bisogno.
- **Ternary Signal** invece che Manchester, in un clock il filo contiene codice 0, 1 o 2. Con 3 coppie posso avere 27 simboli diversi, quindi 4 bit e ne avanzo per la ridondanza.
- Trasmetto 4 bit a 25 MHz e ottengo 100 Mbps e mi rimane sempre 33.3 Mbps nel canale inverso.
- Lo schema si chiama 8B/6T (8 bit/6 trits), poco elegante ma funzionava sui cablaggi telefonici (che erano tutti a 4 coppie)



8B 6T encoding

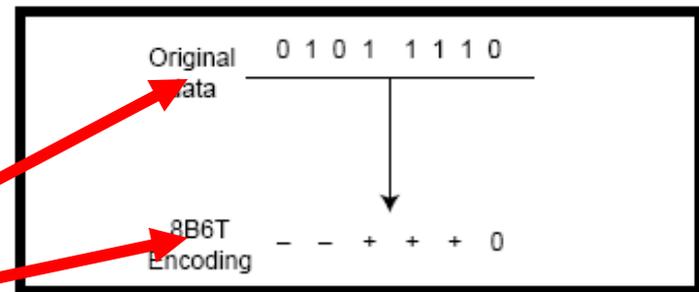
(b)





8bit /6 trits

Hex value	6T Code group					
00	+	-	0	0	+	-
01	0	+	-	+	-	0
02	+	-	0	+	-	0
03	-	0	+	+	-	0
04	-	0	+	0	+	-
05	0	+	-	-	0	+
06	+	-	0	-	0	+
07	-	0	+	-	0	+
08	-	+	0	0	+	-
10	+	0	+	-	-	0
3F	+	0	-	+	0	-
5E	-	-	+	+	+	0
7E	0	0	+	-	-	+
80	+	-	+	0	0	-
C0	+	-	+	0	+	-
FF	+	0	-	+	0	0





100Base-TX (802.3u)

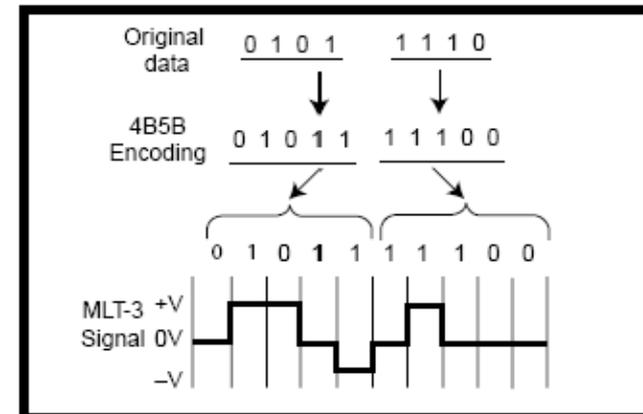
- Conosciuto come FAST ETHERNET – **molto diffuso**
- Molto più semplice visto che il cavo tiene 100 MHz (cavo cat 5, 5E o 6), **solo due coppie** per stazione, una va e una viene.
- Non si usa encoding binario ma uno schema 4B/5B, preso da FDDI e compatibile: ogni 5 clock da due segnali ho 32 bit (2^5).
- 16 combinazioni trasmettono gruppi di 4 bit mentre le altre sono usate per controllo, confini dei frame. Le combinazioni scelte sono scelte in modo da dare abbastanza transizioni per facilitare il syncing
- 100Base-TX permette di trasmettere in Full-Duplex e inoltre non si differenzia troppo dal 10Base-T tanto che le porte e le schede sono spesso 10/100 (NIC e switch possono contrattare se usare 100 o 10 e anche FD o HD)
- Costo irrisorio: Schede NIC tra 10 e 50 Euro, se non sono integrate Switch a 24 porte 1000 Euro o molto meno se unmanaged



4B/5B encoding

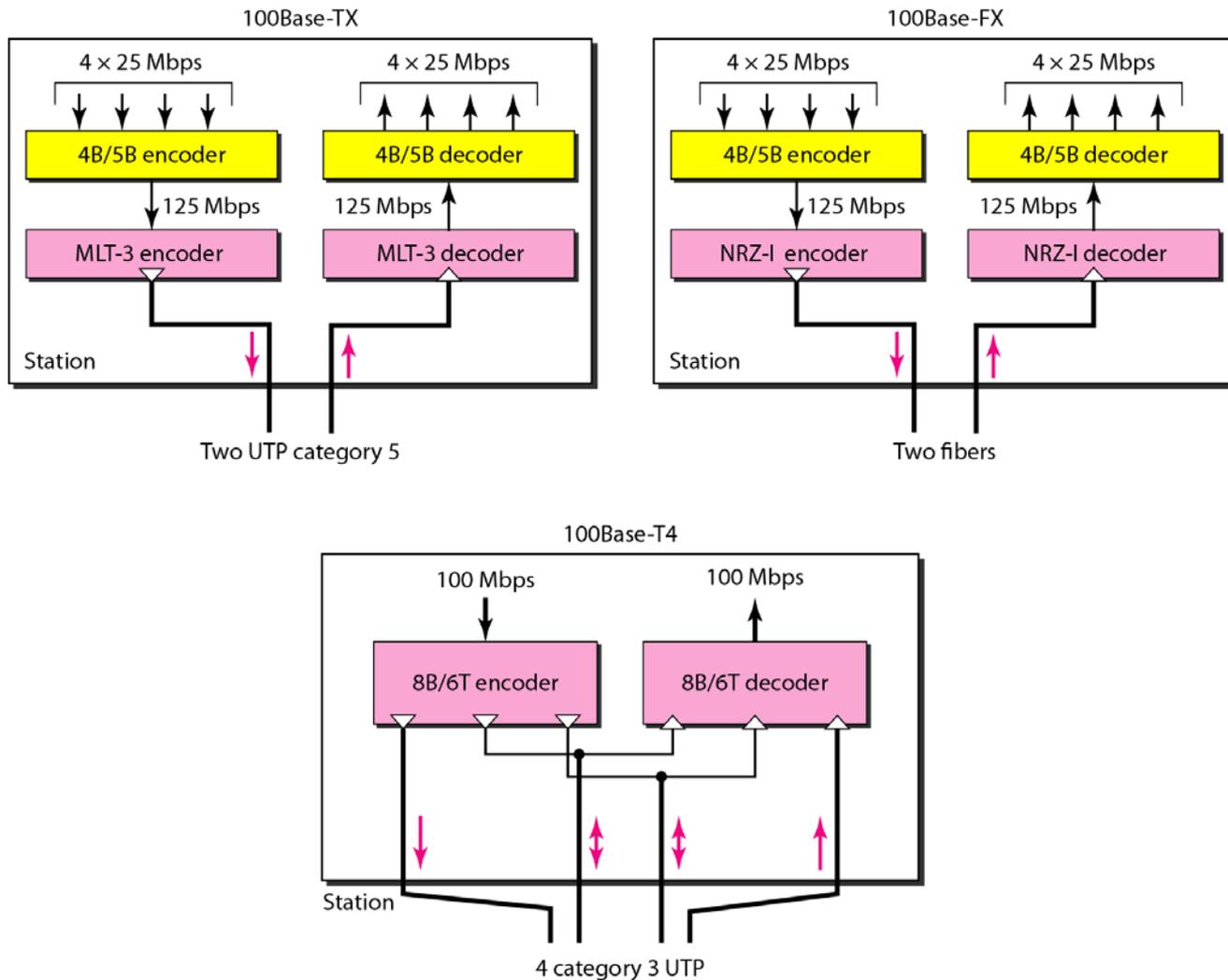
4-bit	Data 5-bit Data				
0000	1	1	1	1	0
0001	0	1	0	0	1
0010	1	0	1	0	0
0011	1	0	1	0	1
0100	0	1	0	1	0
0101	0	1	0	1	1
0110	0	1	1	1	0
0111	0	1	1	1	1
1000	1	0	0	1	0
1001	1	0	0	1	1
1010	1	0	1	1	0
1011	1	0	1	1	1
1100	1	1	0	1	0
1101	1	1	0	1	1
1110	1	1	1	0	0
1111	1	1	1	0	1

- Ho di nuovo un segnale a 3 livelli chiamato MLT-3
- Ogni valore di 4 bit ha una controparte a 5 bit
- Quindi il mio stream 100 Mbps diventa uno stream 125 Mbps 4B5B
- Usando MLT-3 ho 31.25 MHz x 4bit/ciclo
- 31.25 MHz supera i 16 Mhz di cat-3 per cui devo usare Cat 5 che arriva fino a 100 MHz





Codifiche fast ethernet





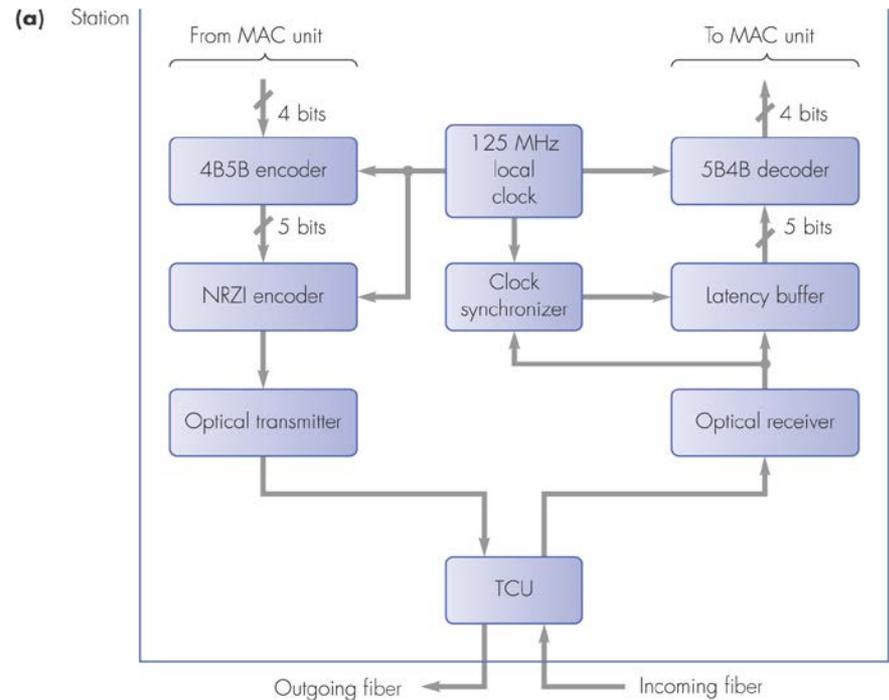
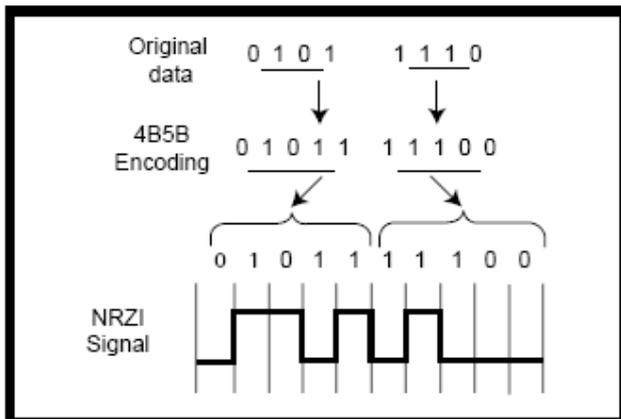
100Base-FX

- Usa una coppia di fibre multimodale (62.5/124 micron), una in ogni direzione, quindi permette il Full-Duplex
- Permette di avere distanze fino a 2 km
- I cavi 100Base-Fx sono troppo lunghi per i normali algoritmi di collisione quindi devo usarli su domini di collisione separati (invece posso avere hub 100-TX)
- 10 volte il costo del 100-TX, quindi usato per interconnettere switch molto distanti e cablaggio verticale



4B/5B su fibra

- Qui uso 4B/5B come 100Base-TX con non-return-to-zero, invert on one (NRZI) signaling
- Uno stream di 125 Mbps (a livello 4B/5B si ottiene con una portante a 62.5 MHz)





riassunto



<i>Characteristics</i>	<i>100Base-TX</i>	<i>100Base-FX</i>	<i>100Base-T4</i>
Media	Cat 5 UTP or STP	Fiber	Cat 4 UTP
Number of wires	2	2	4
Maximum length	100 m	2000m	100 m
Block encoding	4B/5B	4B/5B	
Line encoding	MLT-3	NRZ-I	8B/6T



100 Base 2 raro

- A grande richiesta venne introdotto 100Base2 per avere Fast Ethernet su due coppie Cat 3
 - Era necessario un DSP complicatissimo per gestire l'encoding, molto costoso.
 - Due five-level Pulse Amplitude Modulation (PAM) sulle due coppie UTP con signaling a 12.5 MHz
 - Ogni ciclo fornisce two cambiamenti PAM5x5 quindi 25 Mcambiamenti per coppia UTP
 - Ogni coppia di segnali PAM codifica un differente pattern a 4 bit usando combinazioni di +2 +1 0 -1 -2
 - Quindi $25 \text{ Msimboli/sec} * 4\text{bit/simbolo} = 100 \text{ Mbit/sec}$
- Alla fine era più economico ri-cablare in Cat 5 che permetteva schede e switch più semplici ed economici per cui 100Base2 non ha avuto futuro



Auto-negoziamento

- Con il 100Base-T divenne possibile l'auto negoziamento dei diversi tipi di protocollo
- Quando due porte vengono connesse si scambiano dei Fast Link Pulses che contengono dei codici che codificano le capacità delle porte:
 - modi (HD vs FD)
 - Bandwidth 10, 100, 10/100
- Dopo questo scambio le porte decidono il modo migliore di interoperare.

Priority	Link Choice
1 (Highest)	100BaseT2 (Full duplex)
2	100BaseTX (Full duplex)
3	100BaseT2(Half duplex)
4	100BaseT4
5	100BaseTX (Half duplex)
6	10Base T (Full duplex)
7 (Lowest)	10BaseT (Half duplex)



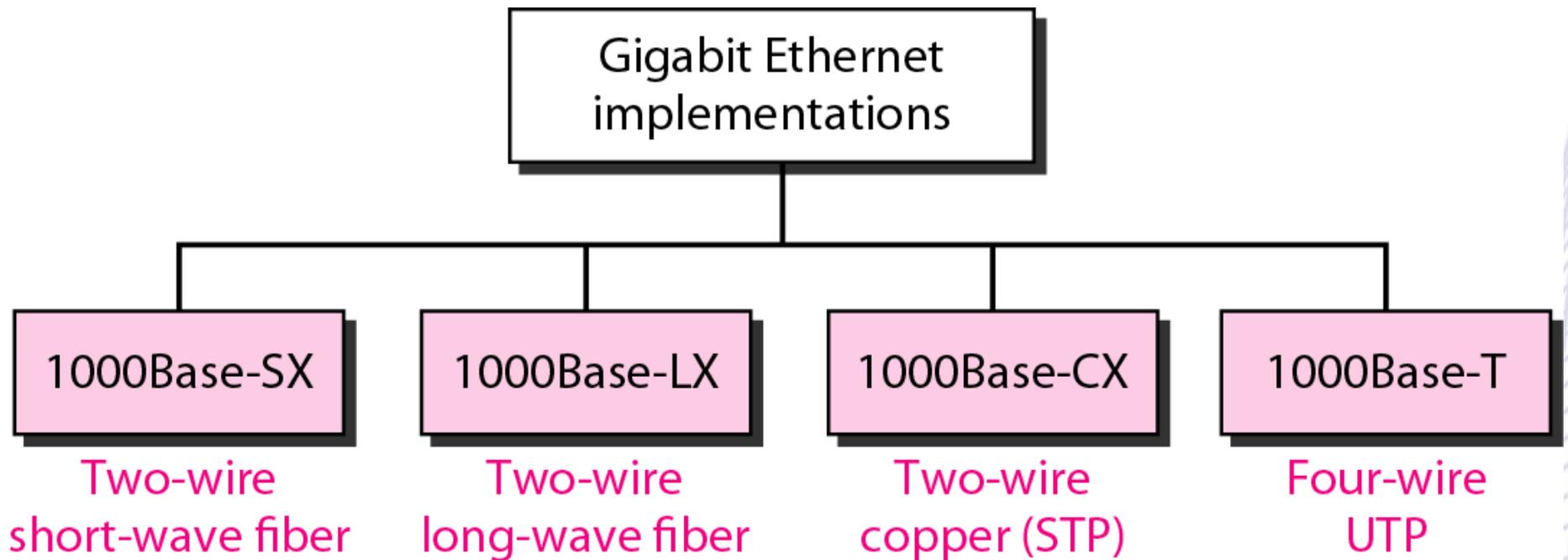
Gigabit Ethernet



- Da almeno una dozzina anni sono disponibili interfacce gigabit ethernet
- Utile per un server a cui si attaccano diversi client a 100 Mbps ma **soprattutto come backbone e uplink di switch Fast Ethernet**
- Si possono usare in modo FD o **HD**
- In FD ho uno switch centrale e tutte le linee sono bufferizzate. Posso usare il canale quando voglio senza fare prima il sense dal momento che su quel canale sono l'unico che può spedire. In pratica non uso CSMA/CD e la lunghezza massima del cavo è determinata dalla forza del segnale e non dal tempo **rrt** di un noise burst.
- Gli switch possono avere diverse velocità e si possono autoconfigurare come in Fast Ethernet



Gigabit Ethernet





Gigabit Half Duplex



- In questo caso per gestire le collisioni con lunghezza minima di 64 byte devo ridurre il diametro a 25 metri
 - Ricordate i 2500 metri di 10Base
- 25 metri sarebbe pochino, ci sono quindi due scappatoie:
 - **Carrier extension**: estendo in hardware il frame minimo a 512 byte, il software non si accorge di nulla (NB usare 512 byte per un payload di 46 byte vuol dire efficienza del 9%)
 - **Frame Bursting**: il sender concatena molti frame in una unica trasmissione e se non si arriva a 512 bytes aggiungo il solito padding. Se ho abbastanza frame in attesa di trasmissione è uno schema molto efficiente. In questo modo arrivo a circa 250 metri



Il mondo reale

- Nessuno si sposta a Gigabit per avere alte prestazioni e poi infognarsi in un hub Gigabit con collisioni etc... per essere compatibili con l'Ethernet classico.
- Gli switch Gigabit hanno un prezzo solo leggermente superiore a quelli Fast Ethernet
- È solo per dimostrare che i comitati degli standard vedono la compatibilità all'indietro come sacra.



Cablatura a Gbps



- Fino a 100m con cavi cat 5 (1000BaseT) con porte 10/100/1000
- Con le fibre e gli standard 1000Base SX (multimodale) e 1000BaseLX(singlemode)
- Devo usare laser e non LED per raggiungere commutazione di 1ns

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

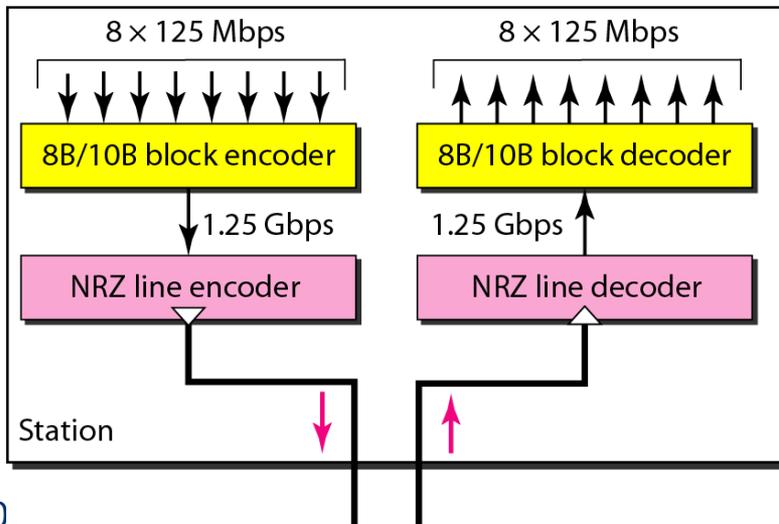


codifiche



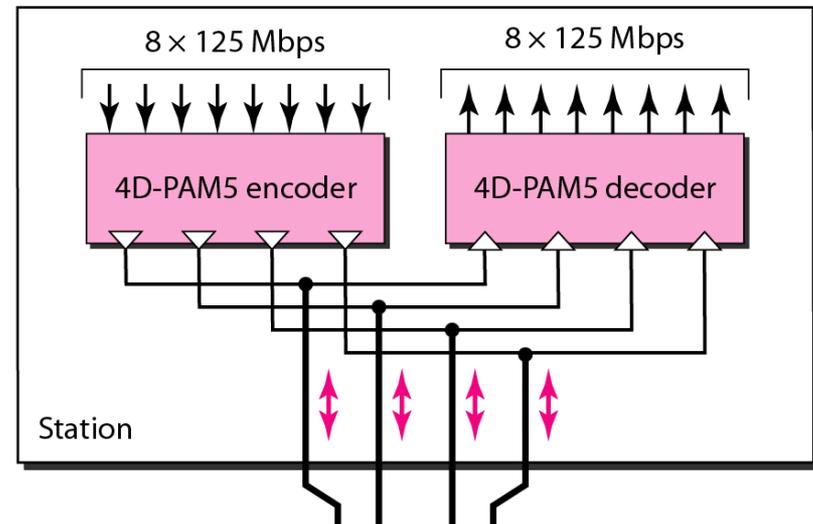
Characteristics	1000Base-SX	1000Base-LX	1000Base-CX	1000Base-T
Media	Fiber short-wave	Fiber long-wave	STP	Cat 5 UTP
Number of wires	2	2	2	4
Maximum length	550 m	5000 m	25 m	100 m
Block encoding	8B/10B	8B/10B	8B/10B	
Line encoding	NRZ	NRZ	NRZ	4D-PAM5

1000Base-SX, 1000Base-LX, and 1000Base-CX



Two fibers or two STPs

1000Base-T



4 UTP cables



Estensioni CISCO



- Ci sono estensioni di LX e SX per raggiungere distanze superiori
- Alcune sono proprietarie ma permettono decine di km su fibre single mode

GBIC	62.5 μm Multimode Fiber (MMF)	50 μm Multimode Fiber (MMF)	Single Mode Fiber (SMF)
1000BASE-SX	220 meters	550 meters	-----
1000BASE-LX	550 meters	550 meters	5000 meters
1000BASE-LH	550 meters	550 meters	10,000 meters
1000BASE-ZX	-----	-----	70,000 meters 100,000 meters (dispersion shifted single mode fiber)



Encoding su Fibra

- Gigabit Ethernet richiede un nuovo encoding su fibra per non usare 2 Gbaud
- Schema 8B/10B usato anche di Fibre Channel, Serial Attached SCSI, IEEE1394b.
 - Un byte di 8 bit viene codificato come 10 bit sulla fibra. Ci sono 1024 (2^{10}) possibili codici e due regole di selezione:
 1. Nessun codice deve avere più di quattro bit consecutivi identici di fila
 2. Nessun codice deve contenere più di sei 0 o 1
 - Inoltre tutti i bytes hanno due possibili codici associati

Initial 8-bit value	Resulting 8b10b encoded value (RD-)	Resulting 8b10b encoded value (RD+)
0000 0000	100111 0100	011000 1011
0000 0001	011101 0100	100010 1011
0000 1111	010111 0100	101000 1011
1111 0000	011011 0001	100100 1110
1111 1111	101011 0001	010100 1110



Encoding 1000Base-T



- Uso quattro coppie di un cat5 per trasmettere 4 simboli in parallelo
- Ogni simbolo codificato con uno di 5 livelli di tensione (PAM-5). Per cui mi codifica 00, 01, 10, 11 e un codice speciale di controllo
- Quindi ho 2 bits di dati per doppino e 8 bits di dati per clock.
- Il clock è di 125 MHz quindi permette di andare a 1 Gbps
- Uso 5 tensioni invece di 4 per avere combinazioni in più da usare per framing e controllo



1000Base-T

- Gigabit Ethernet costava circa 3/5 volte più di Fast Ethernet su rame ora costa circa uguale
- Permette link di circa 100 metri su doppino Cat-5 o Cat-6
- Su Fibra costa almeno 10 volte il rame su multimodale e fino a 100 volte per le estensioni proprietarie
- Altri standard come il 1000Base-CX per connessioni fino a 25 metri su rame o 1000Base-TX solo su Cat-6 non hanno avuto seguito commerciale



10 Gbps Ethernet

- Il 10 Gbps Ethernet standardizzato come IEEE 802.3ae
- Viene aggiunto un transceiver ottico Long Haul (40+ km) per fibre single mode da usare in LAN e WAN
- Permette di trasportare 10GE in modo trasparente su SONET OC-192c
- Solo FD con distanze di 65 o 300m su MMF, 2,10 e 40 km su SMF

Fiber	62.5 micron MMF		50 micron MMF			SMF
MHz*km	160 ¹	200	400	500	2000 ²	-
SR/SW 850 nm serial	26m	33m	66m	82m	300m	-
LR/LW 1310 nm serial	-	-	-	-	-	10km
ER/EW 1550 nm serial	-	-	-	-	-	40km
LX4 1310 nm WWDM ⁴	300m@500MHz*km ³		240m	300m	-	10km



10GBase

<i>Characteristics</i>	<i>10GBase-S</i>	<i>10GBase-L</i>	<i>10GBase-E</i>
Media	Short-wave 850-nm multimode	Long-wave 1310-nm single mode	Extended 1550-nm single mode
Maximum length	300 m	10 km	40 km



10 gigabit

- 10GBASE-SR distanza corte: 26m o 82m su cavi multimode. Anche 300m su nuovi cavi da 2000 MHz-km a 850nm
- 10GBASE-C4 su rame con cavi InfiniBand CX4 fino a 15m
- 10GBASE-LX4 usa WDM a distanze tra 240 e 300m su fibre multimode. Arriva fino a 10 km su fibre single mode a 1310 nm
- 10GBASE-LR fino a 10 km su fibre single mode a 1310 nm



10 gigabit



- 10GBASE-ER fino a 40 km su fibre single mode a 1550 nm. Estensioni proprietarie fino a 80 km
- 10GBase-LRM fino a 220 m su fibre FDDI da 62.5 μm multimode
- 10GBASe-SW 10GBASE-LW e 10GBASE-EW usano il layer fisico WAN-PHY progettato per interoperare con apparati SDH/SONET di tipo OC-192/STM-64. Corrispondono a 10GBASE-SR LR e ER e quindi usano le stesse fibre e distanze.



10 Gbit su rame

- 10 Gbit usa connessioni con fibre ottiche per distanze serie, con l'eccezione di –CX4
- IEEE sta standardizzando un 10GBASE-T (802.3an) con speciali doppini Cat-6A (ma potrebbe funzionare anche su cat 5E, e ovviamente su cat 7), fino a 100,
- Inoltre lo standard sta muovendosi verso Full Duplex eliminando la retro compatibilità con Half Duplex





Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50 μ , 62.5 μ)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 μ) or multimode (50 μ , 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

Gigabit Ethernet cabling.



40 o 100 Gbit Ethernet

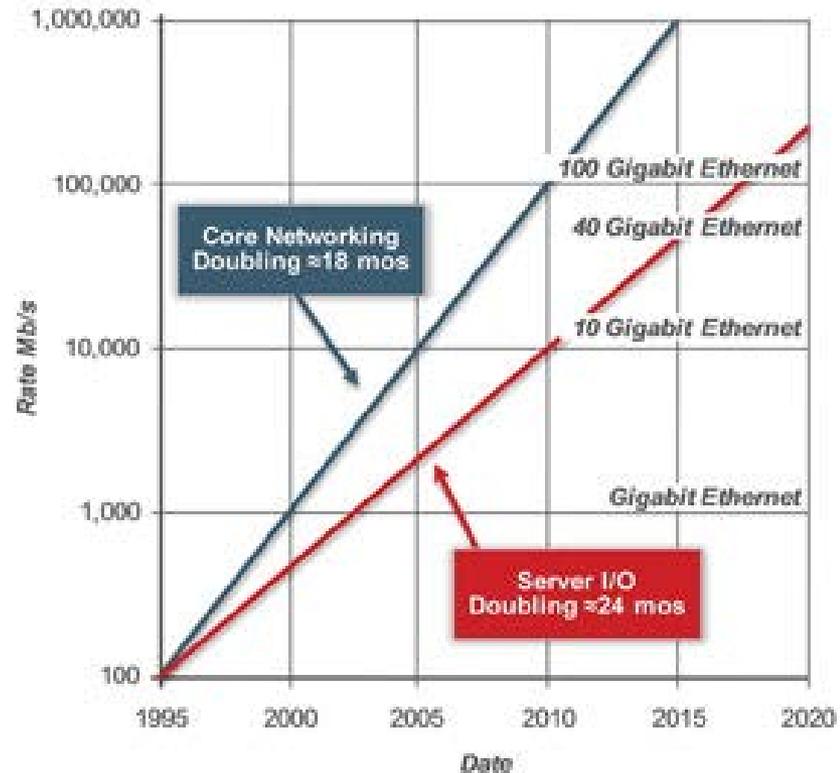


- 10 Gbps viene usato come uplink per switch a 1 Gbps ma cominciano a diffondersi macchine con porte a 10 Gbps per grandi server di storage, macchine parallele e macchine che servono macchine virtuali
- Lo standard a 40 e a 100 Gigabit Ethernet sono in fase di definizioni, per connessioni di switch con porte a 10 Gbps, sia all'interno di data center che per dorsali di rete quando siano disponibili fibre nude



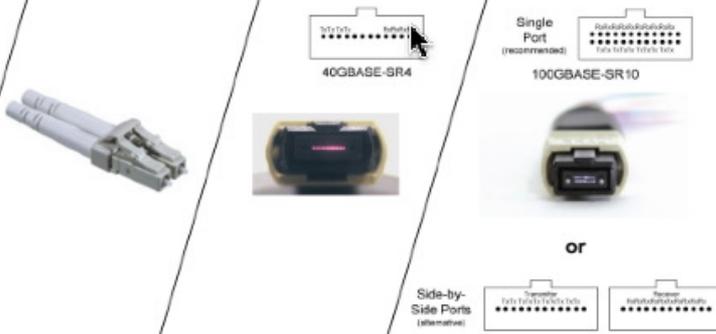
Channel Layout

Port Type	Description	40GbE	100GbE	Description
40GBASE-KR4	At least 1m backplane	X		4 x 10 Gb/s
40GBASE-CR4 100GBASE-CR10	At least 7m cu (twin-ax) cable	X	X	"n" x 10 Gb/s
40GBASE-SR4 100GBASE-SR10	At least 100m OM3 MMF (150m OM4 MMF)	X	X	"n" x 10 Gb/s
40GBASE-LR4	At least 10km SMF	X		4 x 10 Gb/s
100GBASE-LR4	At least 10km SMF		X	4 x 25 Gb/s
100GBASE-ER4	At least 40km SMF		X	4 x 25 Gb/s



IEEE 802.3 Ethernet Channel Layout

Data Rate	10Gb/s	40Gb/s	100Gb/s
Laser Type	VCSEL	VCSEL Array	VCSEL Array
Fiber Type	OM3	OM3/OM4	OM3/OM4
Connector	LC x 2	12-fiber MPO	2x12f MPO or 1x24f MPO
# of Fibers	2	12	24
Schematic			





Ethernet 10 Mbps



	10Base5	10Base2	10Base-T	10Base-F
Cavo	Thick coax	Thin coax	UTP	Optical fibre
Lunghezza massima	500 m	185 m	100 m	2000 m
Line Encoding	Manchester	Manchester	Manchester	Manchester



Ethernet 100 Mbps



	100Base-TX	100Base-FX	100Base-T4
Cavo	UTP cat 5	Optical Fibre	UTP cat 4
Numero fili	2	2	4
Lunghezza massima	185 m	2000 m	100 m
Encoding	4B/5B	4B/5B	4B/5B
Line Encoding	MLT-3	NRZ-I	8B/6T



Ethernet 1 Gbps



	1000Base-SX	1000Base-LX	1000Base-CX	1000Base-T
Cavo	Optical Fibre	Optical Fibre	STP	UTP Cat 5
Numero fili	2	2	2	4
Lunghezza massima	550 m	5000 m	25 m	100 m
Encoding	8B/10B	8B/10B	8B/10B	
Line Encoding	NRZ	NRZ	NRZ	4D-PAM5



Ethernet 10 Gbps



	10GBase-S	10GBase-L	10GBase-E
Cavo	Optical Fibre	Optical Fibre	Optical Fibre
modo	Multimode	Single Mode	Single Mode
Lunghezza massima	300 m	10 km	40 km



Servizi di Ethernet



- Abbiamo visto che due macchine possono comunicare su di una linea non affidabile usando diversi protocolli data link
 - Questi forniscono servizi di controllo dell'errore (usando l'acknowledgement) o controllo di flusso (usando sliding window)
- Invece Ethernet e i protocolli 802 offrono un servizio best effort (nessuna garanzia è richiesta o attesa)
- A volte questo è sufficiente, per esempio per trasportare pacchetti IP, questo va benissimo
 - Un pacchetto IP viene messo nel payload di un frame 802, se viene perso, pazienza!



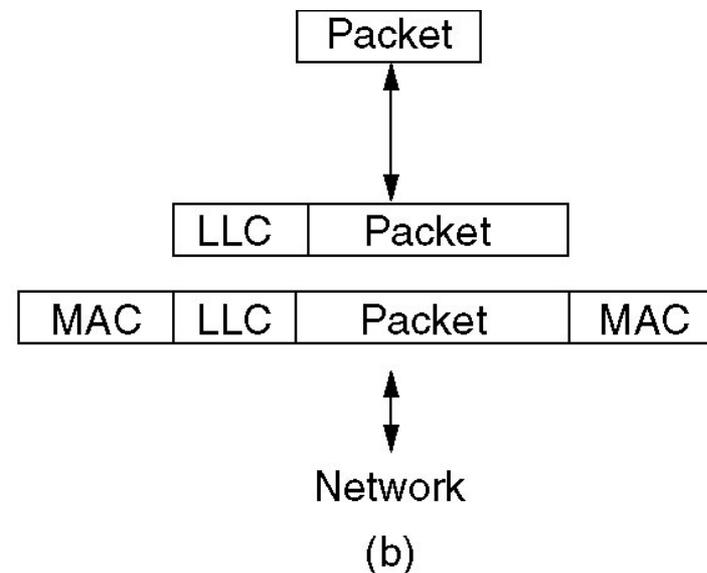
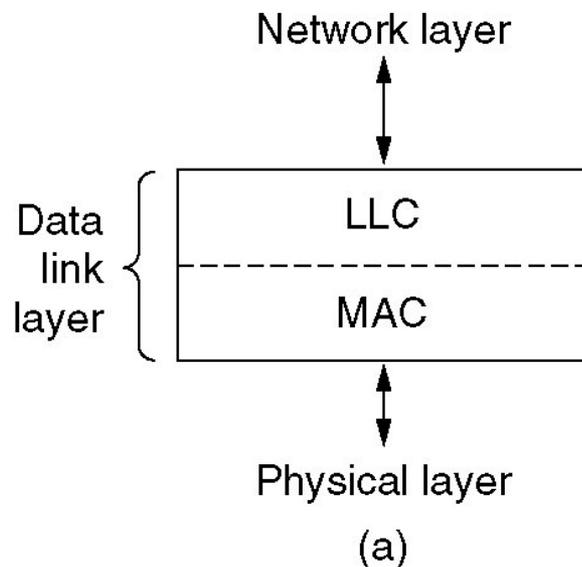
flow ed error control

- Tuttavia alcuni sistemi potrebbero voler un protocollo data link con error control e flow control
- IEEE ha definito un protocollo LLC che può stare sopra Ethernet e gli altri protocolli 802
- Inoltre questo protocollo nasconde al livello superiore tutte le differenze tra i diversi tipi di protocollo 802 fornendo un unico formato e interfaccia al livello network
- Assomiglia molto a HDLC e costituisce la parte superiore del livello data link con il sottolivello MAC al di sotto



Logical Link Control

- Il Network layer manda un pacchetto al Logical Link Control, usando le primitive di accesso a LLC
- LLC aggiunge un header che contiene numeri di sequenza e ack.
- La struttura risultante viene messa nel payload di un frame 802 e trasmessa





Servizi LLC



- LLC offre tre scelte di servizio
 - Datagram non affidabile
 - Datagram con ricevuta
 - Connection Oriented Affidabile
- L'header LLC contiene tre campi
 - Source e Destination access point. L'access point serve per dire da quale processo arriva il frame e dove deve andare, rimpiazzando il campo Type di DIX
 - Control field che contiene numeri di sequenza e numeri di ack, nello stile di HDLC. Sono campi usati quando serve una connessione affidabile a livello data link
 - Per Internet la consegna best effort di pacchetti IP è sufficiente quindi non servono ack a livello LLC