

Slide del corso di Reti di Calcolatori tenuto dal prof . Agostino Poggi dell'Università di Parma.

Traduzione a cura di Bacchini Alessandro, Biasion Francesco, Davoli Luca e Domenico Giaquinto.

Il prof. Poggi **non** è responsabile del contenuto e della traduzione di queste slide.

Le slide sono fornite “così come sono”, senza garanzia di completa conformità agli originali, inoltre, i traduttori non si assumono alcuna responsabilità per errori di traduzione e interpretazione.

Reti di calcolatori

Reti in area locale

Proprietà delle LAN

- Proprietà caratterizzanti le LAN
 - o Alto throughput
 - o Costo relativamente basso
 - o Limitate a corte distanze
 - o Differenti topologie:
 - o Bus
 - o Anello
 - o Stella
- La politica del Media Access Control (MAC) determina principalmente le proprietà delle LAN.

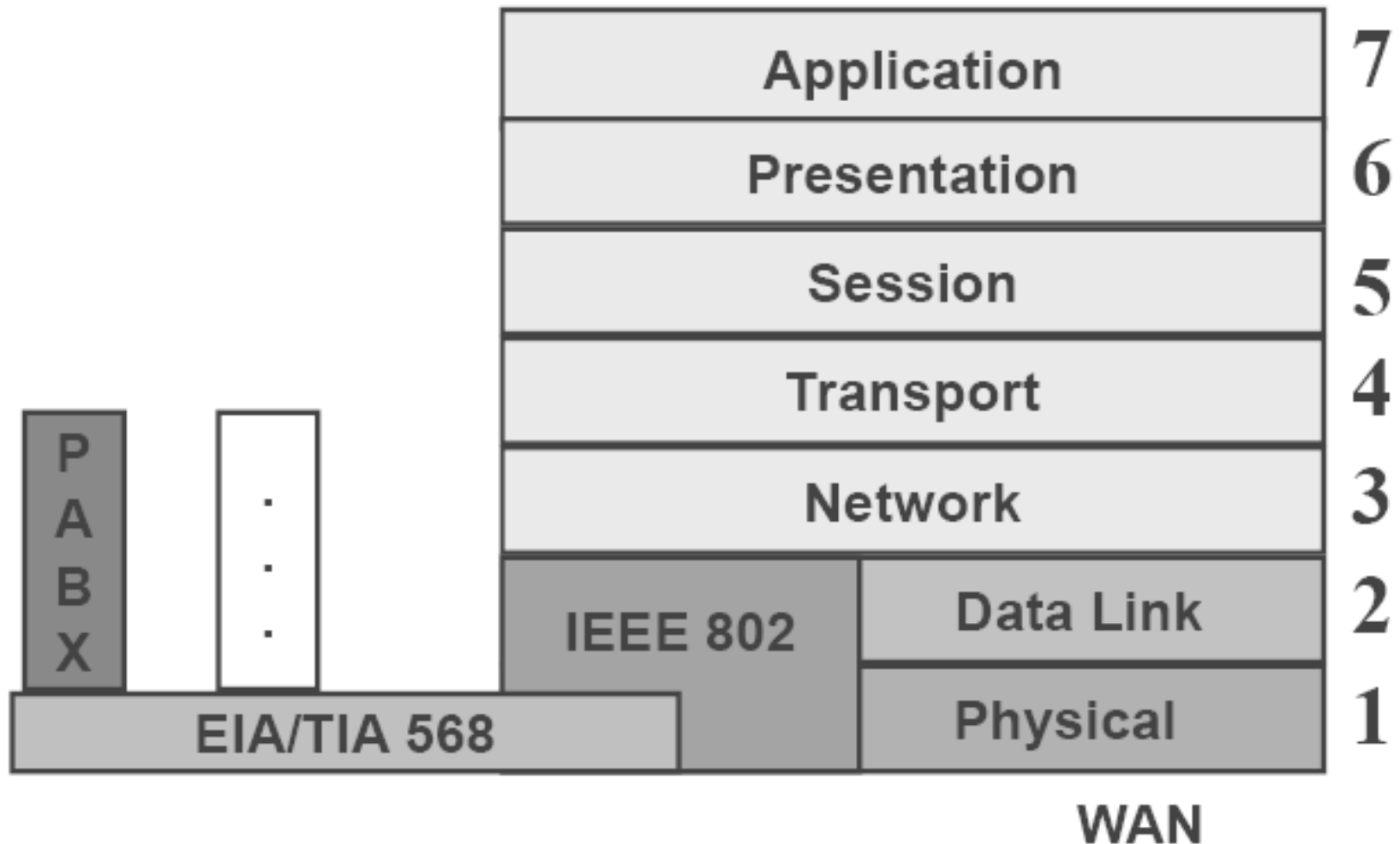
IEEE 802

- IEEE 802 pone uno standard per l'accesso allo strato Network dalle differenti tecnologie di trasmissione sulle LAN
- IEEE 802 è composto da diverse parti
 - 802.1 copre principalmente i problemi di indirizzamento, internetworking e gestione della rete
 - 802.2 supporta il multi accesso e inserisce le LAN nella struttura generale OSI
 - 802.3, 802.4, ... definisce differenti tipi di accesso e servizi aggiuntivi

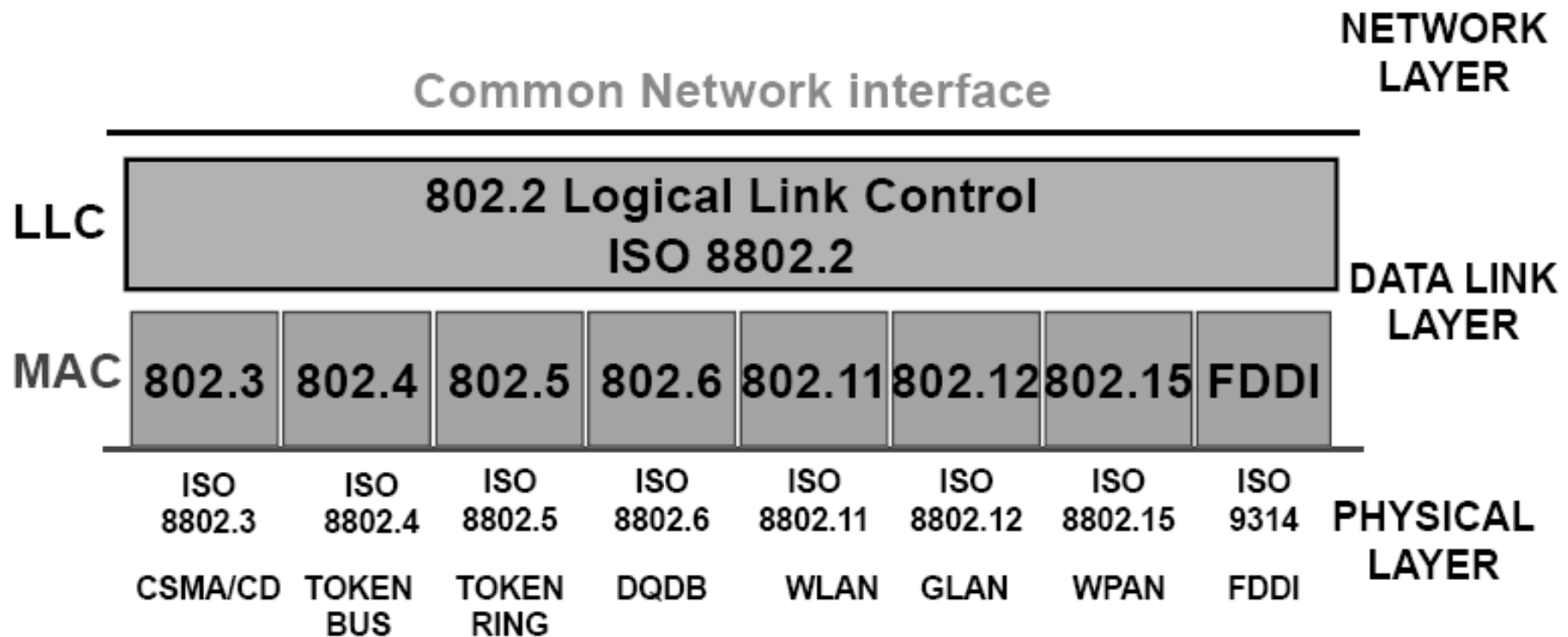
IEEE 802

- 802.3 CSMA/CD LAN
- 802.4 Token Bus LAN
- 802.5 Token Ring LAN
- 802.6 DQDB
- 802.7 Broadband LAN
- 802.8 Fiber Optic LAN
- 802.9 Isochronous LAN
- 802.10 Security
- 802.11 Wireless LAN
- 802.12 Demand Priority
- 802.14 Cable Modem
- 802.15 Wireless PAN
- 802.16 Broadband Wireless
- 802.17 Resilient Packet Ring
- 802.18 Radio Regulatory WG
- 802.19 Coexistence TAG
- 802.20 Mobile Broadband Wireless
- 802.21 Media Independent Handoff
- 802.22 Wireless Regional Area Networks

ISO/OSI, IEEE 802, EIA/TIA 568



IEEE 802

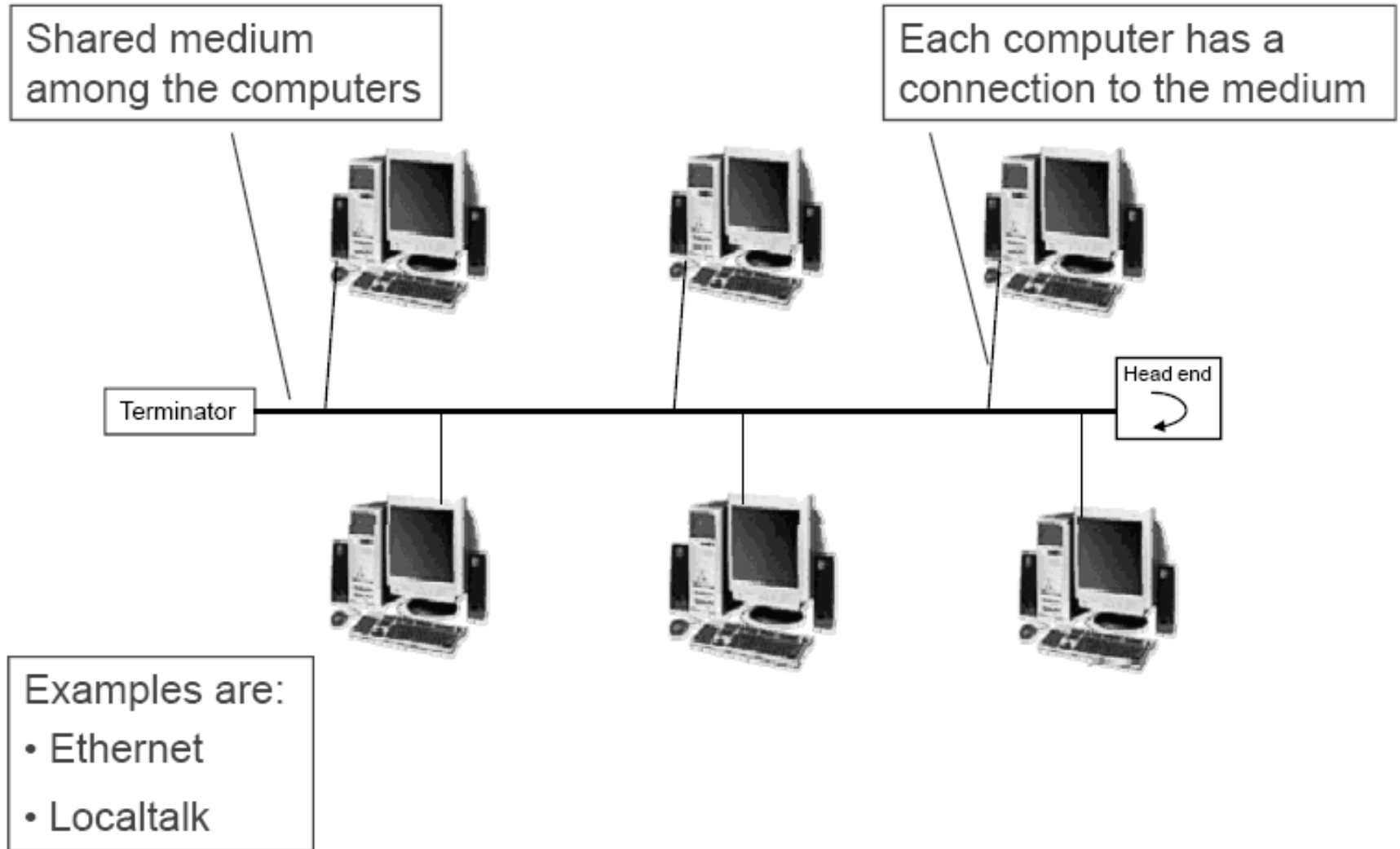


Different Transmission Technologies

Topologie delle reti LAN

- Le LAN possono avere differenti topologie
 - Bus
 - Anello
 - Stella
- Inoltre, differenti topologie possono essere combinate
 - Albero

Bus



Vantaggi e svantaggi

- Vantaggi

- Semplicità di connessione di un computer o di una periferica ad un bus lineare
- Richiede cavi più corti di una topologia a stella
- Migliore per reti temporanee (installazione veloce)
- Tipicamente è la tecnologia più economica
- La rottura di una stazione non ricade sulle altre

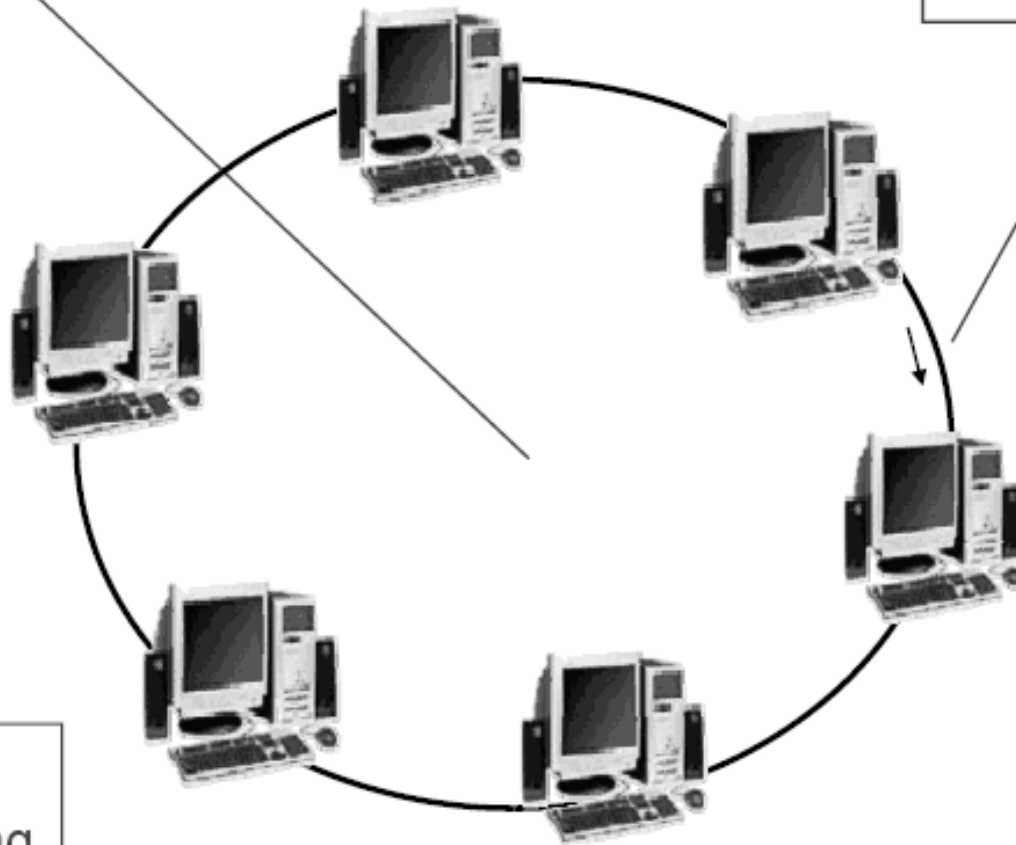
- Svantaggi

- L'intera rete non funziona se c'è un guasto sul cavo principale
- Difficile identificare il problema se l'intera rete non funziona
- Lunghezza del cavo e numero di stazioni limitate
- L'aggiunta di computer fa degradare le performance

Anello

No central facility

Bits flow in single direction



Examples are:

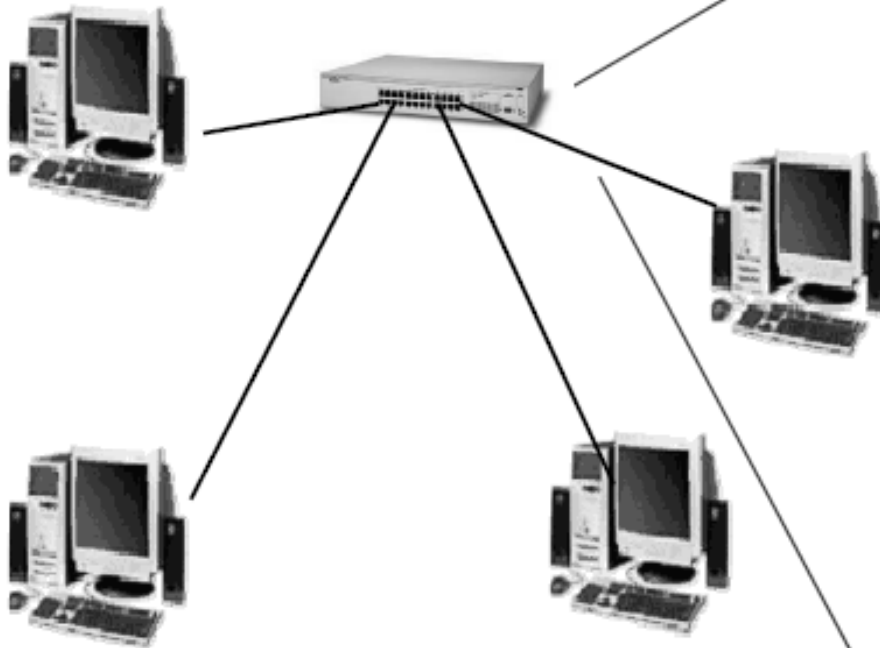
- IBM Token Ring
- FDDI

Vantaggi e svantaggi

- Vantaggi
 - La crescita del sistema ha un impatto minimo sulle performance
 - Tutte le stazioni hanno uguale accesso
 - Ogni nodo dell'anello agisce come ripetitore
 - Le reti ad anello raggiungono distanze maggiori rispetto alle altre topologie fisiche
- Svantaggi
 - Spesso è la topologia più costosa
 - La rottura di un computer può influire sugli altri

Stella

Central component of network
usually known as hub



Examples are:

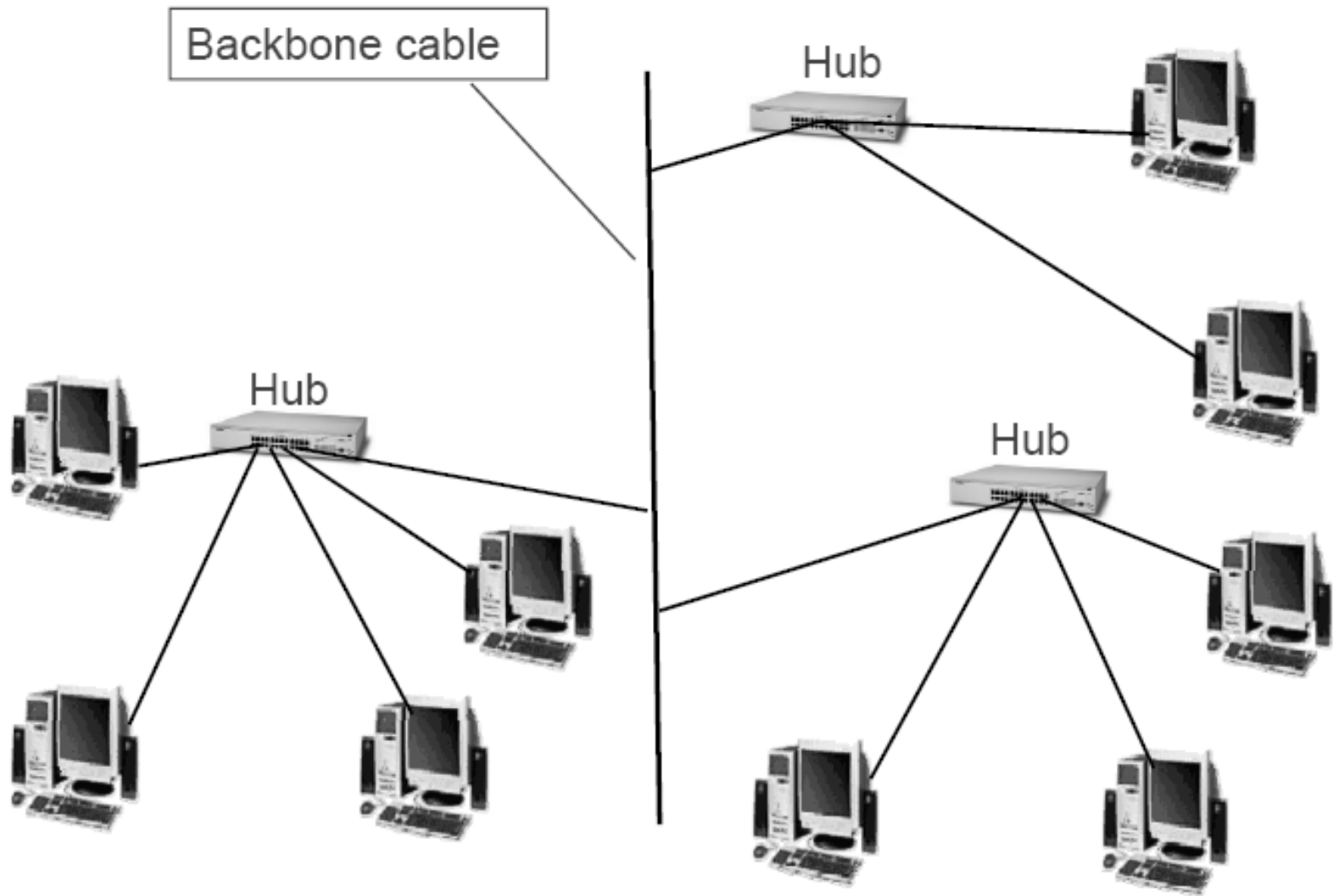
- ATM
- Ethernet

Each computer has separate
connection to hub or other
hardware device

Vantaggi e svantaggi

- Vantaggi
 - Semplice da installare e cablare
 - Nessuna interruzione della rete alla connessione o rimozione dei device
 - Semplice trovare le rotture e rimuovere le parti
 - Migliore per reti temporanee (installazione veloce)
- Svantaggi
 - L'aggiunta di computer fa degradare le performance
 - Richiede cavi più lunghi rispetto ad una topologia lineare
 - Se l'hub o il concentratore si rompono, i nodi attaccati risultano disabilitati
 - Più costosa di una topologia a bus lineare a causa del costo dei concentratori

Albero



Vantaggi e svantaggi

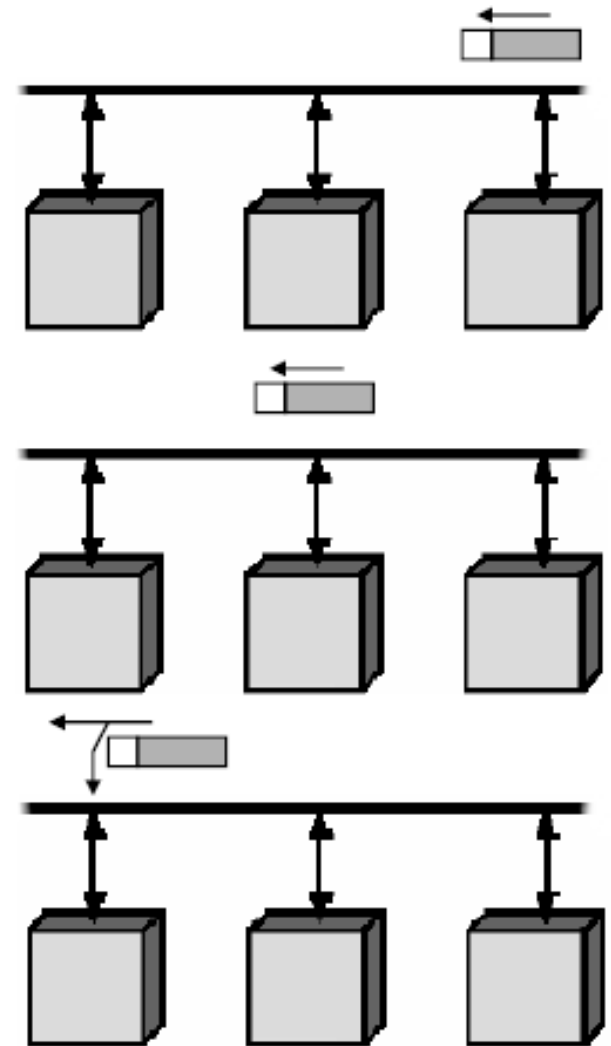
- Vantaggi
 - Cablaggio punto-punto per segmenti individuali
 - Supportata da diversi costruttori di hardware e software
- Svantaggi
 - La lunghezza totale di ciascun segmento è limitata dal tipo di cablaggio utilizzato
 - Se la dorsale si rompe, l'intero segmento va off-line
 - Più difficile da configurare e cablare rispetto ad altre topologie

Ethernet / IEEE 802.3

- LAN più popolare
- Diverse generazioni
 - Differenti formati dei frame
 - Differenti data rates
 - Differenti schemi di cablaggio
- Mezzo condiviso utilizzato per tutte le trasmissioni (bus)
- La politica del Media Access Control (MAC) assicura l'equità
- Opera a 10 Mbps

Accesso alle risorse su un bus

- Trasmette solamente una stazione per volta
- Il segnale si propaga sull'intero cavo
- Tutte le stazioni ricevono la trasmissione



Aloha

- I nodi spediscono il messaggio quando hanno dati da spedire
- Quando ricevono un segnale di consegna
 - Considerano la trasmissione completata
 - Altrimenti ritrasmettono dopo un tempo random
- Semplice, protocollo distribuito, ma non molto efficiente:
 - 18% di utilizzo massimo

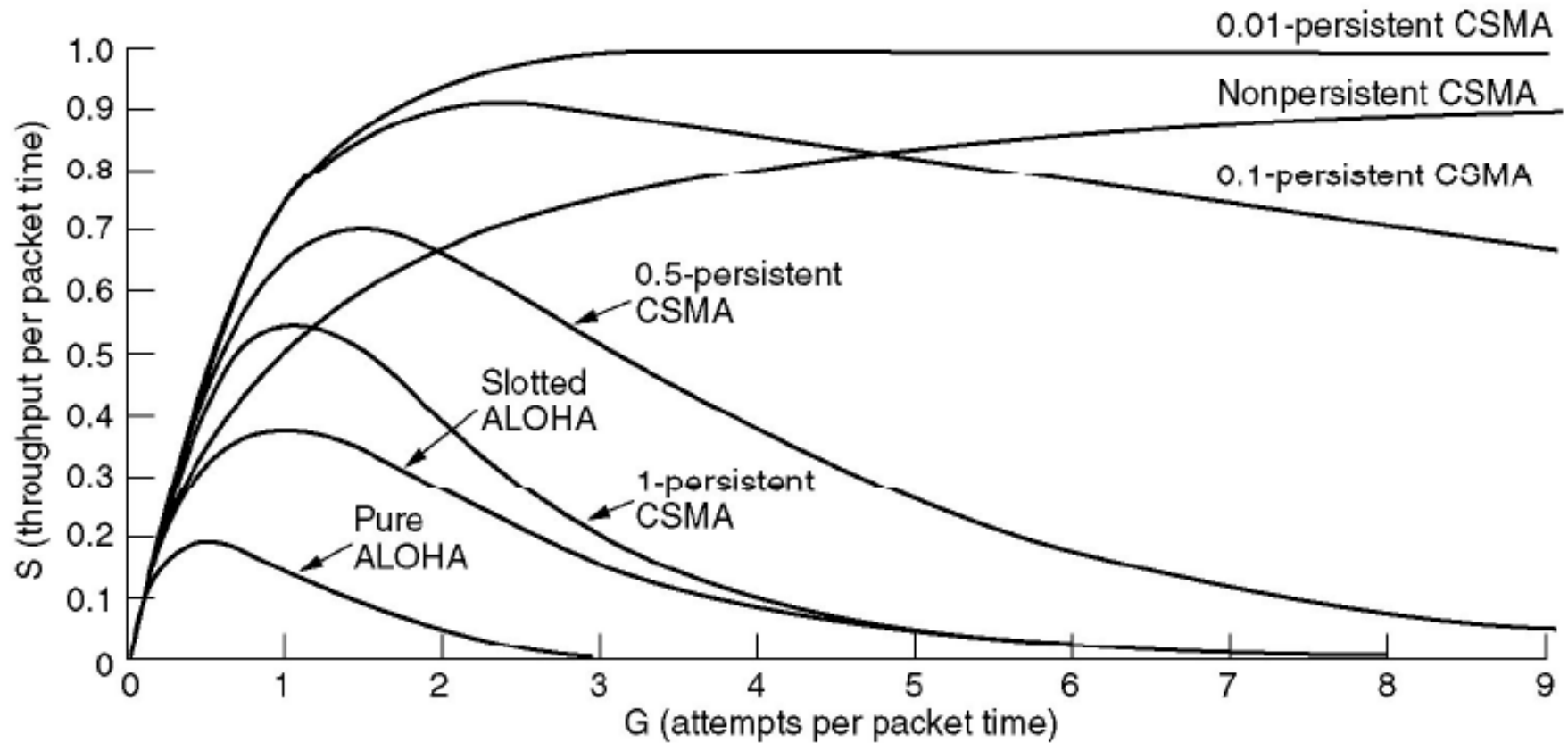
Slotted Aloha

- Il tempo è diviso in slot uguali
- Il nodo spedisce il messaggio solo all'inizio di uno slot di tempo
- Se riceve una risposta
 - Considera la trasmissione completata
 - Altrimenti ritrasmette all'inizio di uno slot successivo, dopo un tempo random
- Protocollo distribuito più complesso, ma più efficiente poiché riduce le possibilità di collisione:
 - 37% di utilizzo massimo

CSMA

- CSMA: ascolta prima di trasmettere
 - Se il canale risulta inattivo, trasmette l'intero pacchetto
 - Se il canale risulta occupato, ritarda la trasmissione
- CSMA persistente
 - Riprova immediatamente con probabilità p quando il canale diventa inattivo (può causare instabilità)
- CSMA non persistente
 - Riprova dopo un intervallo casuale

Performance Aloha e CSMA

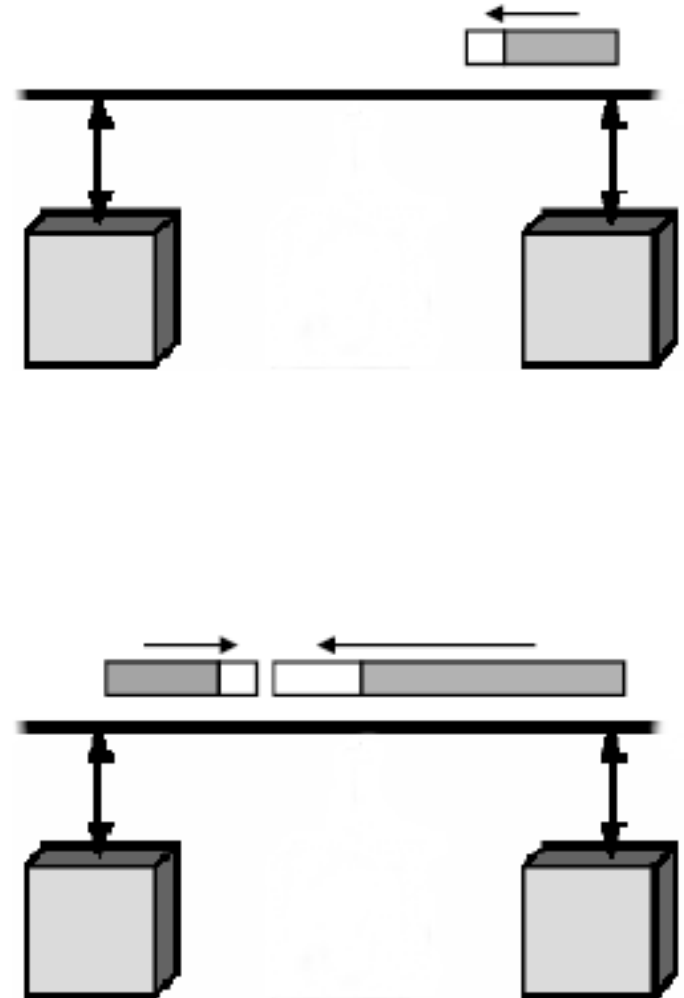


CSMA/CD

- CSMA/CD: ascolta prima e durante la trasmissione
 - Se viene scoperta una collisione in un tempo breve, la trasmissione abortisce, riducendo così l'occupazione del canale
- La scoperta delle collisioni è semplice in LAN cablate:
 - Misura l'intensità del segnale, confronta i segnali trasmessi e ricevuti
- La scoperta delle collisioni è difficile nelle LAN wireless:
 - Il ricevitore è spento durante la trasmissione

CSMA/CD

- Due trasmissioni simultanee
 - Interferiscono con le altre
 - Creano collisioni
- CSMA+Collision Detection (CD)
 1. Ascoltano sul mezzo durante la trasmissione
 2. Scoprono quando il segnale di un'altra stazione interferisce



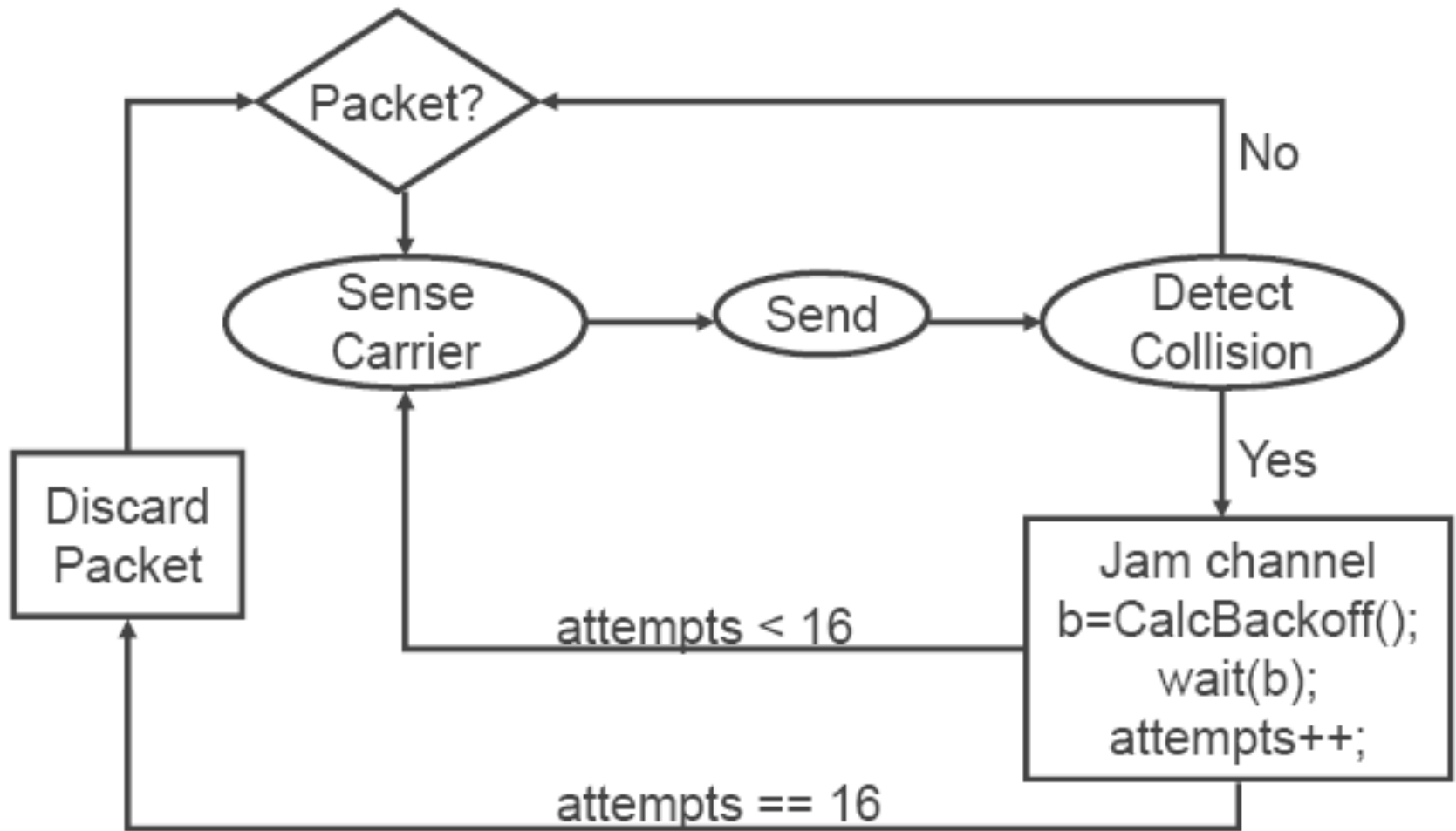
CSMA/CD

- Esce dalle interferenze e riprova
- Quando ci sono collisioni
 1. Aspetta un tempo casuale T , $0 \leq T \leq d$
 2. Usa CSMA a riprova
- Se c'è una seconda collisione
 - Aspetta un tempo casuale T , $0 \leq T \leq 2d$
- Doppio range per ogni successiva collisione
- Chiamato backoff esponenziale

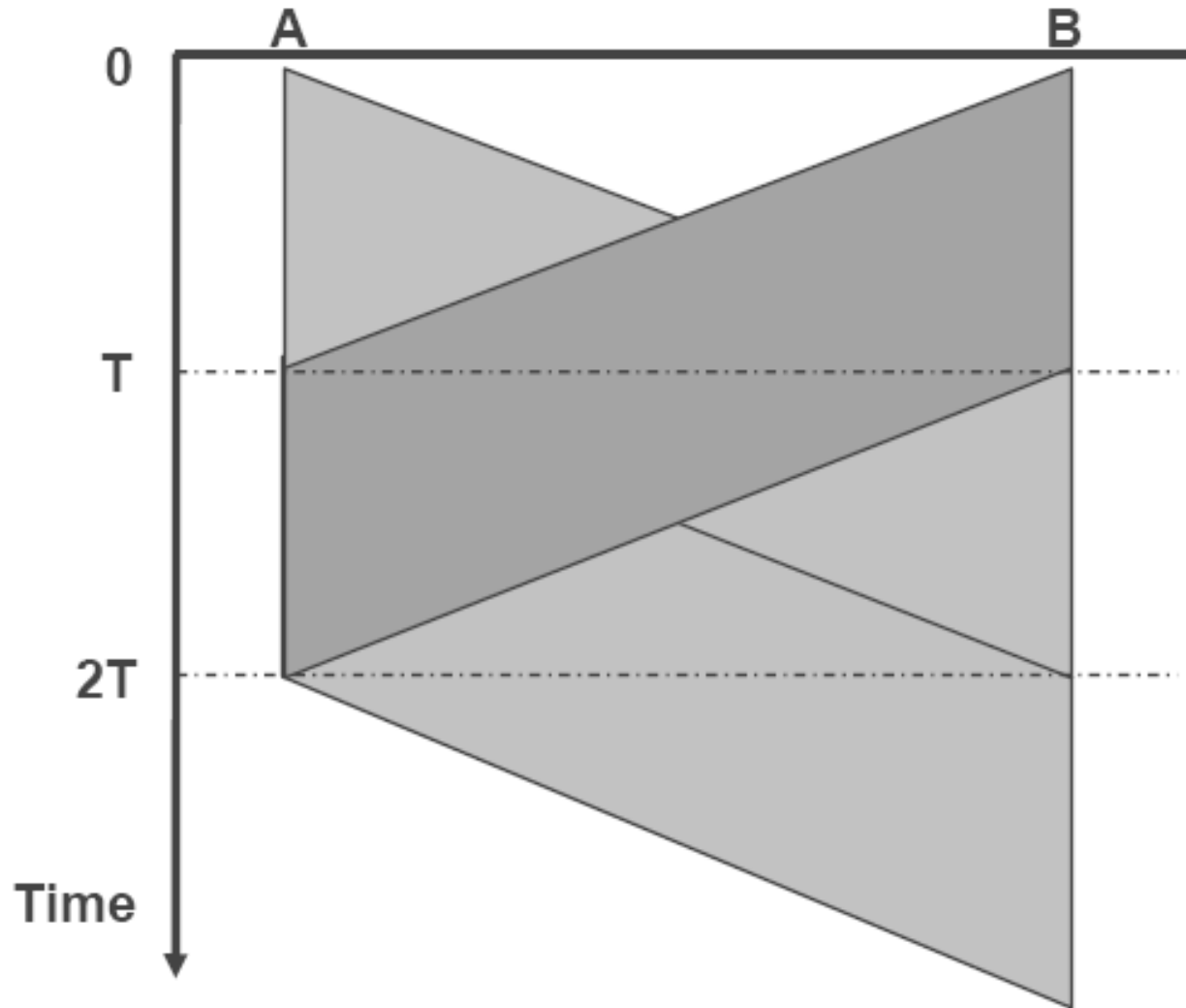
Calcolo del backoff

- Ritardo casuale incrementato esponenzialmente
 - Il tempo di attesa incrementa con il numero di messaggi che collidono
- Il ritardo è: $K \times 512$ bit di trasmissione
- Prima collisione
 - Scelta di K tra $\{0, 1\}$
- Dopo la seconda collisione
 - Scelta di K tra $\{0, 1, 2, \dots, 2^C - 1\}$
 - Dove C è il numero di collisioni
- Dopo dieci o più collisioni
 - Scelta di K tra $\{0, 1, 2, 3, \dots, 1023\}$

CSMA/CD



Problema della scoperta delle collisioni



Problema della scoperta delle collisioni

- Ci deve essere un meccanismo per assicurare la ritrasmissione a seguito delle collisioni
 - Se T è il tempo di propagazione tra due punti finali di una rete
 - Il mittente deve trasmettere a $2T$
- Ne segue che la grandezza minima di un pacchetto (MPS) e la lunghezza massima della rete hanno dei limiti interdipendenti
 - Se la grandezza minima del pacchetto è 64 bytes
 - È possibile calcolare la lunghezza massima della rete (ML)

$$\begin{aligned} \text{ML} &= \text{minimum packet size} * \text{light speed} / 2 * \text{bandwidth} \\ &= 8 * 64 * 2 * 10^8 / 2 * 10^7 = 5.12 \text{ km} \end{aligned}$$

Identificazione della destinazione

- Tutte le stazioni sulla LAN possono ricevere tutte le trasmissioni
- Il mittente deve specificare la destinazione
 - Un numero univoco è assegnato ad ogni stazione, indirizzo stazione
 - Ogni frame contiene l'indirizzo di destinazione

Indirizzamento Ethernet

- Standardizzato da IEEE
- Indirizzo a 48-bit unici assegnato ad ogni stazione
- L'indirizzo è normalmente assegnato quando l'interfaccia di rete (NIC) è prodotta

Riconoscimento indirizzo Ethernet

- Ogni frame contiene l'indirizzo di destinazione
- Tutte le stazioni ricevono una trasmissione
- La stazione scarta tutti i frame indirizzati ad un'altra stazione
- Il controllo dell'indirizzo non è gestito dal software, ma dall'interfaccia hardware

Destinazioni possibili

- I pacchetti possono essere spediti a:
 - Una singola stazione (unicast)
 - Tutte le stazioni della rete (broadcast)
 - Un insieme di stazioni (multicast)
- L'indirizzo è utilizzato per distinguere tra differenti alternative
- Le alternative tra gli indirizzi incrementano l'efficienza dell'interazione

Broadcast su Ethernet

- L'indirizzo broadcast è un indirizzo speciale, dove il valore di tutti i bit è 1
- Mittente
 - Sistema l'indirizzo broadcast nel frame
 - Trasmette il frame
- Il ricevitore accetta sempre i frame che contengono
 - Un indirizzo unicast
 - Un indirizzo broadcast

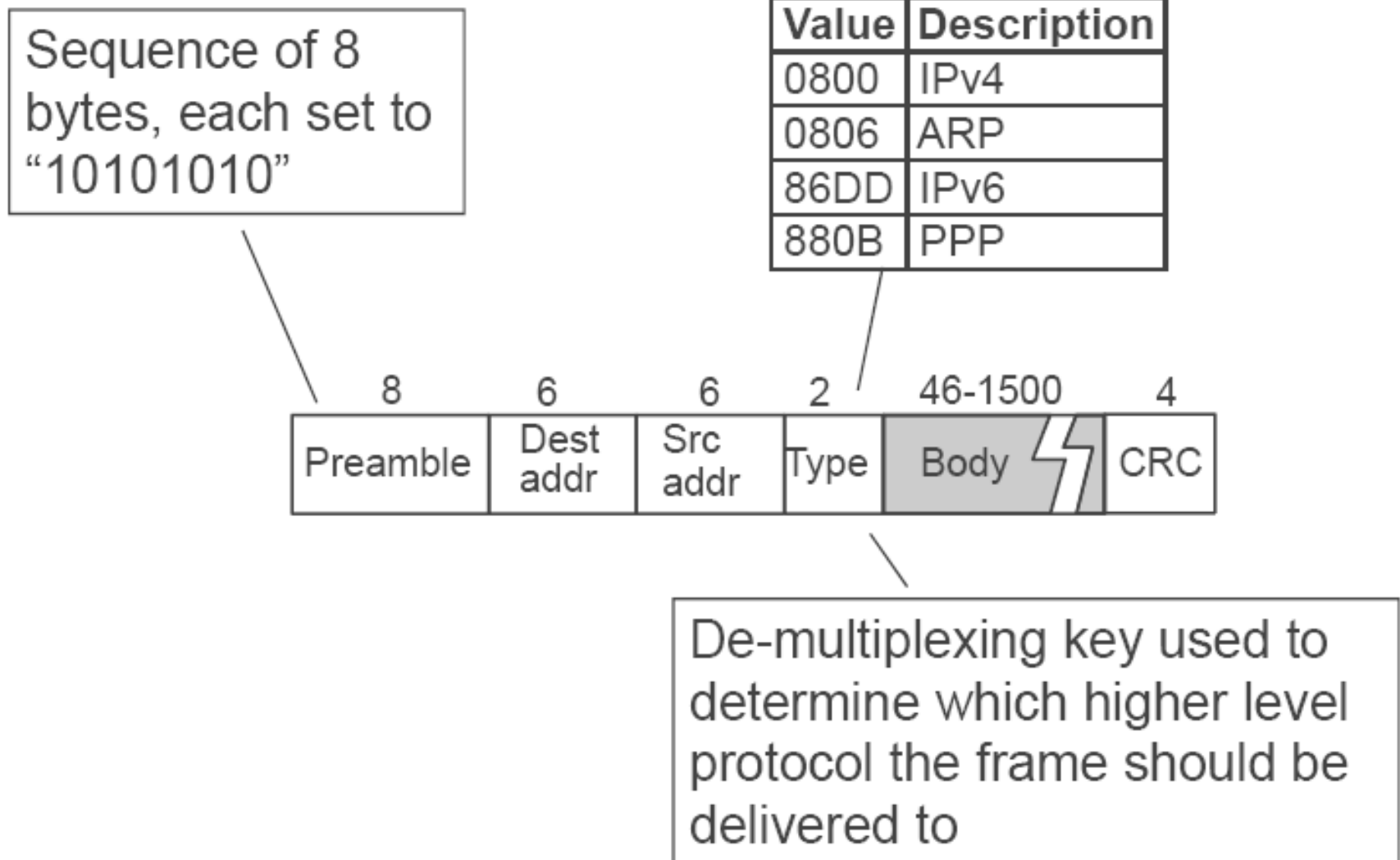
Multicast su Ethernet

- La metà degli indirizzi è riservata al multicast
- Le interfacce di rete
 - Accettano sempre gli indirizzi unicast e broadcast
 - Possono accettare zero o più indirizzi multicast
- Il software
 - Determina gli indirizzi multicast da accettare
 - Avvisa le interfacce di rete

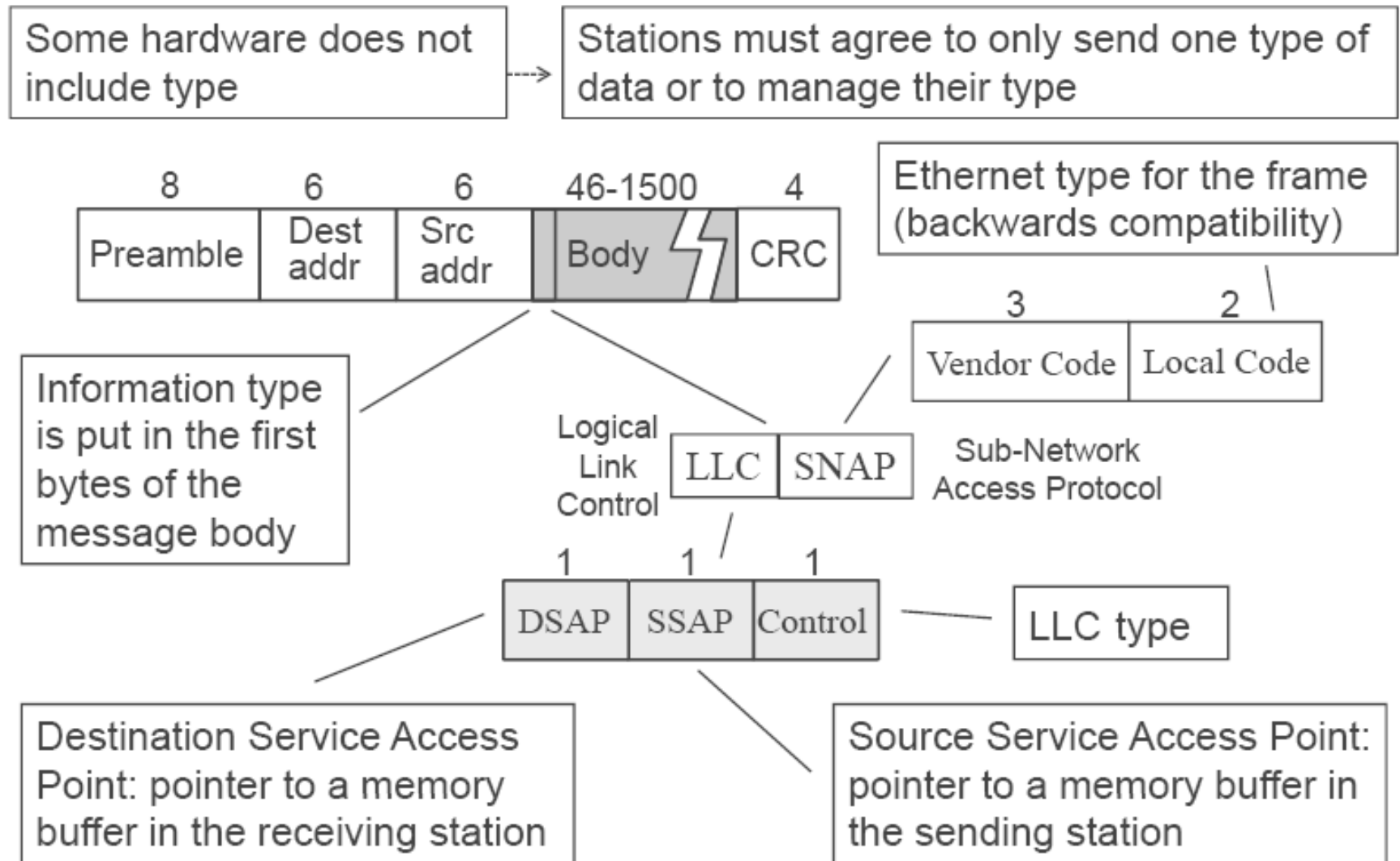
Modalità promiscua

- Le interfacce di rete accettano tutti i pacchetti che appaiono sulla rete
 - Usati per debugging/test
 - Disponibili su molte interfacce di rete

Formato dei frame Ethernet



Formato dei pacchetti Ethernet



Demultiplexing sulla rete

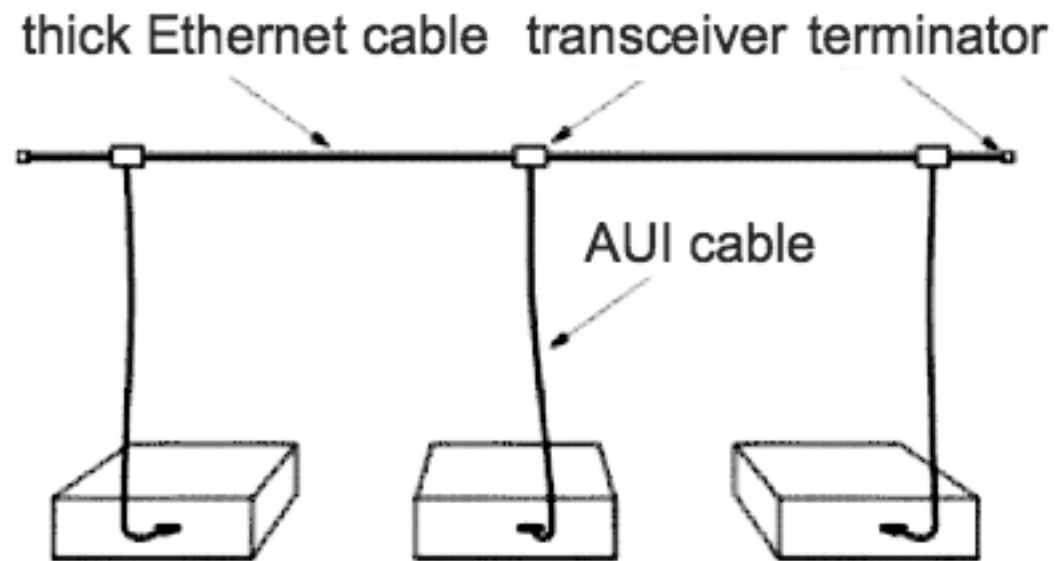
- L'hardware delle interfacce di rete
 1. Ricevono copia di ogni frame trasmesso
 2. Esaminano l'indirizzo e decidono se scartarlo o accettarlo
 3. Passano il frame accettato al software di sistema
- Il software delle interfacce di rete
 1. Esamina il tipo del frame
 2. Passa il frame al modulo software corretto

Cablaggio Ethernet

- Tre schemi
 - Corrispondono alle tre generazioni
 - Tutte usano il medesimo formato dei frame
- L'ethernet originale usa la topologia a bus
- Il moderno ethernet è chiamato “bus a forma di stella”
 - Stella fisica
 - Bus logico

L'originale Connessione Ethernet

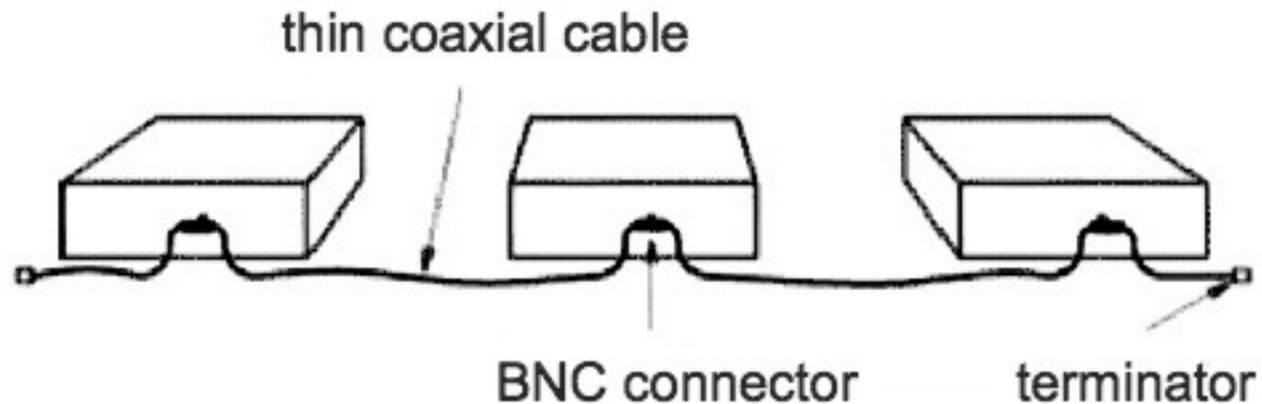
- Nome formale 10base5 ma è chiamata thicknet



- Usa un “pesante” cavo coassiale chiamato “sottile” cavo Ethernet

2° generazione di connessione ethernet

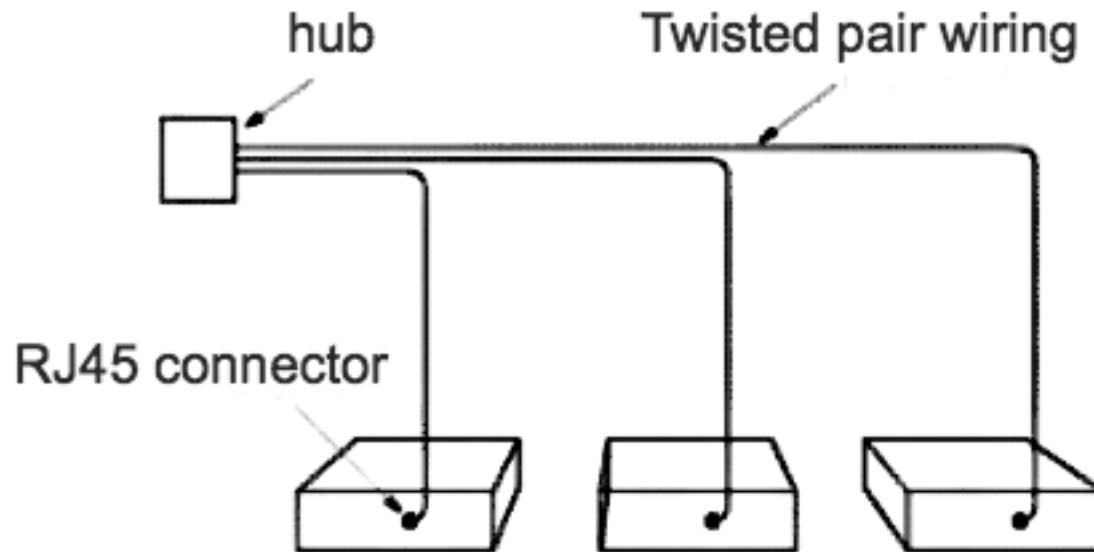
- Nome formale 10 base 2ma è chiamato thinnet



- Usa un sottilissimo cavo coassiale chiamato sottile cavo Ethernet

Connessione di rete moderna

- Nome 10base-t
ma viene chiamata coppia attorcigliata (twisted pair) Ethernet



Usa hub e twisted pairs

Ethernet Veloce

- Applica originale CSMA/CD a protocollo medio d'accesso a 100 Mbps
- Posso cambiare entrambi i frame minimi o i massimi diametri
 - cambia diametri
- L'ethernet veloce a tre collegamenti standard
 - Topologia a connessione a stella con uno switch centrale
 - 2 twister pairs, 2 fibre ottiche e 4 twister pairs

Gigabit Ethernet

- Applica l'originale CSMA/CD a protocollo medio d'accesso a 1Gbps
- Fornisce sia la trasmissione half-duplex che full-duplex
- Aggiunge controllo di flusso per risolvere le congestioni
- Gigabit Ethernet quattro connessioni standard
 - Topologia a stella con switch centrale
 - 2 fibre ottiche (multi-mode), 1 fibra ottica (single-mode), 2 twister pairs schermati, 4 twister pairs

Fast & Gigabit Ethernet

	Ethernet	Fast Ethernet	Giga Ethernet
Speed	10 Mbps	100 Mbps	1000 Mbps
IEEE Standard	802.3	802.3u	802.3z
Media Access Protocol	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD
Frame format	IEEE 802.3	IEEE 802.3	IEEE 802.3
Signal representation	Manchester code	4B/5B code, ...	8B/10B code, ...
Topology	Bus or star	Star	Star
Cable support	Coax, UTP, fiber	UTP, fiber	UTP, fiber
Network diameter (max)	2,500 meters	210 meters	200 meters
UTP link distance (max)	100 meters	100 meters	100 meters

Codice di Efficienza Vs Sincronizzazione del Clock

- Codice Manchester
- Buona sincronizzazione di clock nell'invio e nel ricevere(il valore cambia in ogni bit trasmesso)
- Cattiva efficienza di codifica(50%)
- NRZ,NRZ-I
- Cattiva sincronizzazione di clock nell'invio e nel ricevere(quando una lunga sequenza di 0 o di 1 sono spediti)
- Ottima efficienza di codifica(100%)
- 4B/5B
- Usa NRZ-I
- Decodifica una sequenza di 4 bits in 5 bit per incrementare la sincronizzazione

4b/5B encoding

Data	Encoding	Data	Encoding
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Token Ring

No central facility

Non ha una Struttura centrale

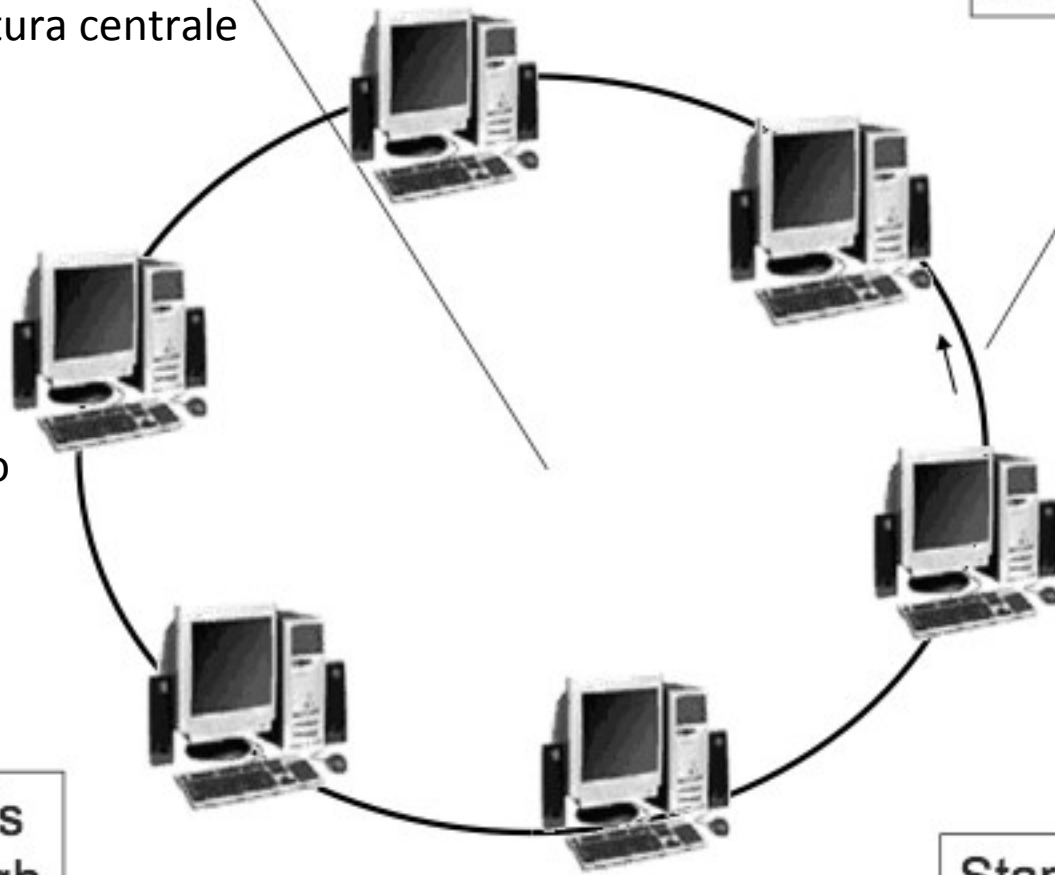
Bits flow in
single direction

Flusso di bit
in una sola
direzione

L'accesso di
controllo è gestito
attraverso il
passaggio di un
gettone

Access control is
managed through
token passing

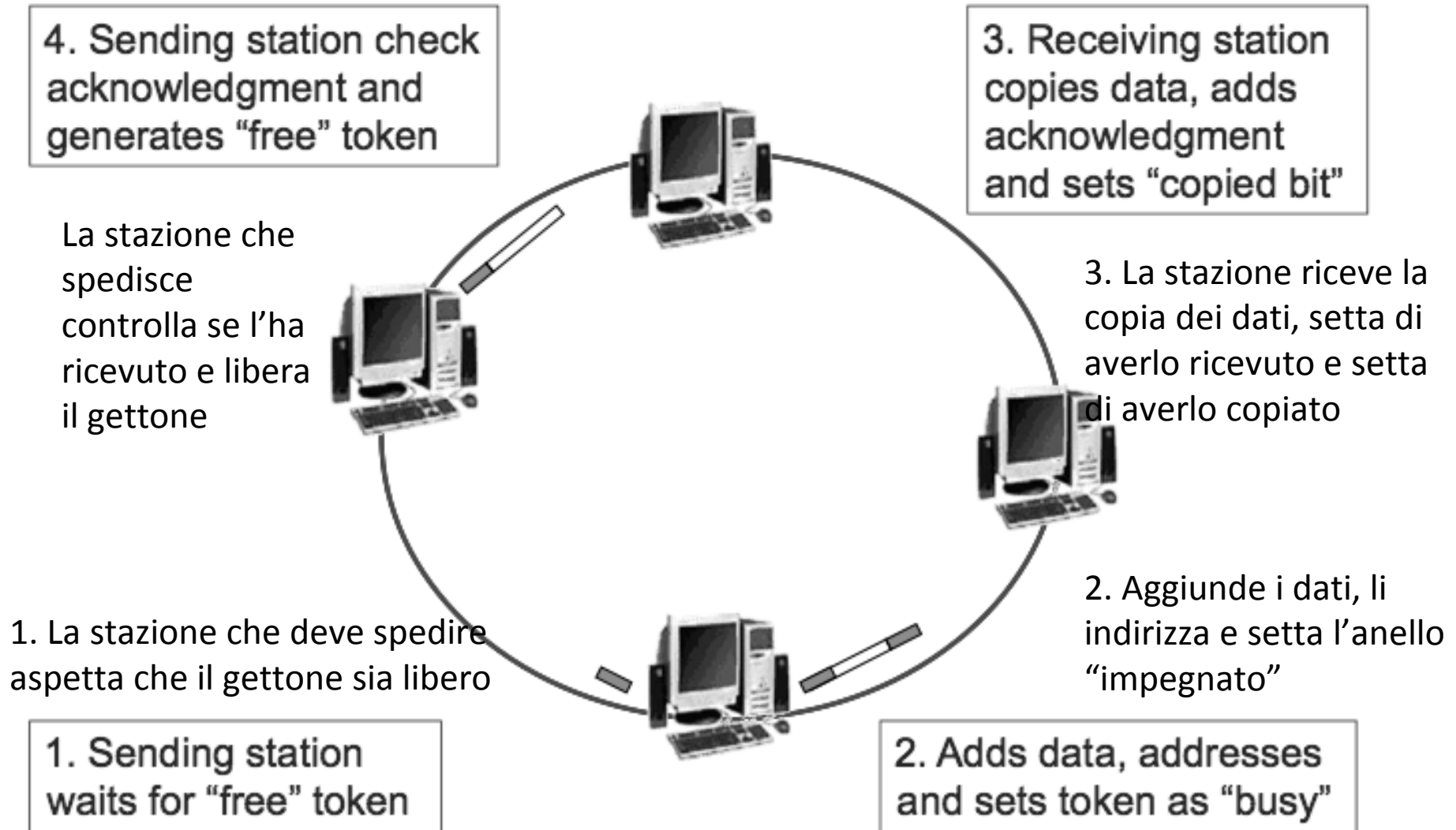
Standardized by
IEEE with 802.5



Token Passing (Passaggio del Gettone)

- il passaggio del gettone garantisce un accesso imparziale alla rete
- Il gettone è uno speciale(riservato) piccolo(pochi bits) messaggio
- Invio
 - 1 aspetta che arrivi il gettone
 - 2 trasmette un pacchetto nell'anello
 - 3 trasmette il gettone nell'anello
 - 4 riceve la trasmissione
- Quando nessuno ha dati da spedire
 - L'anello circola continuamente nella rete

Token Passing



Problema dei fallimenti del Gettone

- **Gettone perso**
- Il gettone si rompe dopo essere stato trasmesso
 - Perde il gettone libero
- Il terminale si rompe nell'anello
 - Il gettone impegnato si perde
- **Il gettone è spesso impegnato o duplicato**

Soluzione al fallimento del Gettone

- Si designa un terminale per il monitoraggio del getto e un altro terminale di backup in caso di guasto del primo
- Se il gettone non circola nella rete per un lungo periodo, il terminal che monitora il gettone può:
 - Creare un nuovo gettone libero
 - Distruggere il gettone impegnato o duplicato

Punti di forza e debolezza

- Punti di forza

- Facile individuazione di:

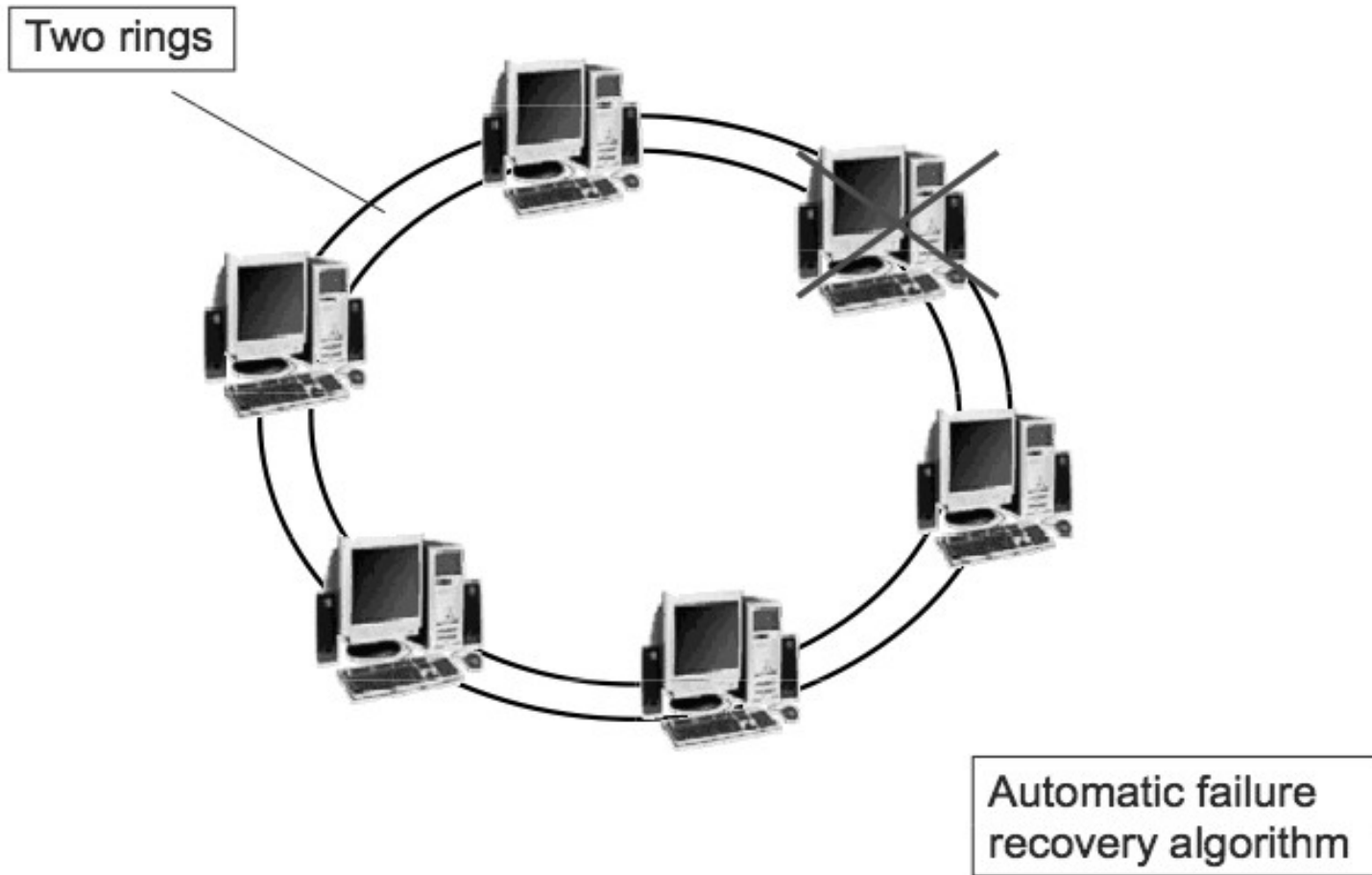
- anello rotto
- rottura dell'hardware
- Interferenza

Molto efficiente ed equo per alto traffico

- Punti di debolezza

- il filo rotto disabilita l'intero anello
- cablaggio Point-to-point
 - scomodo in ufficio
 - difficile aggiungere / spostare le stazioni
- Bassa efficiente per basso traffico

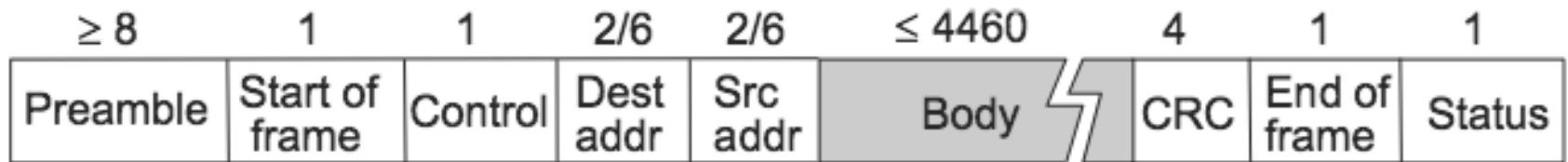
Failure Recovery



FDDI

- Fiber Distributed Data Interconnect (FDDI) usa una tipologia ad anello multimode o single mode con collegamenti di trasmissione in fibra ottica:
 - Elevata affidabilità
 - Immune ai disturbi
- Opera a 100Mbps
- Sono permessi fino a 200km
- Il gettone è trattenuto dalla stazione e rilasciato non appena ha completato la trasmissione del frame
 - Più di un pacchetto sulla rete

FDDI Frame Format



FDDI

- Usa 2 reti (rings)
 - il traffico sulla prima rete è normale
 - Sulla seconda rete (counter-rotating) il traffico è ridondante
- Ci sono 2 tipi di stazioni:
 - Dual attached stations(DAS)
 - Collegato ad entrambi gli anelli
 - Single attached stations(SAS)
 - Collegato soltanto l'anello principale attraverso Dual-Attachment Concentrator(DAC)
- Dual-Attachment Concentrator(DAC) (chiamato anche FDDI concentrator) è l'elemento di una rete FDDI
 - Collega (Attaches) direttamente a entrambi gli anelli (anello primario e all'anello secondario)
 - Assicura che un guasto o lo spegnimento di qualsiasi(SAS) non causa la caduta dell'anello

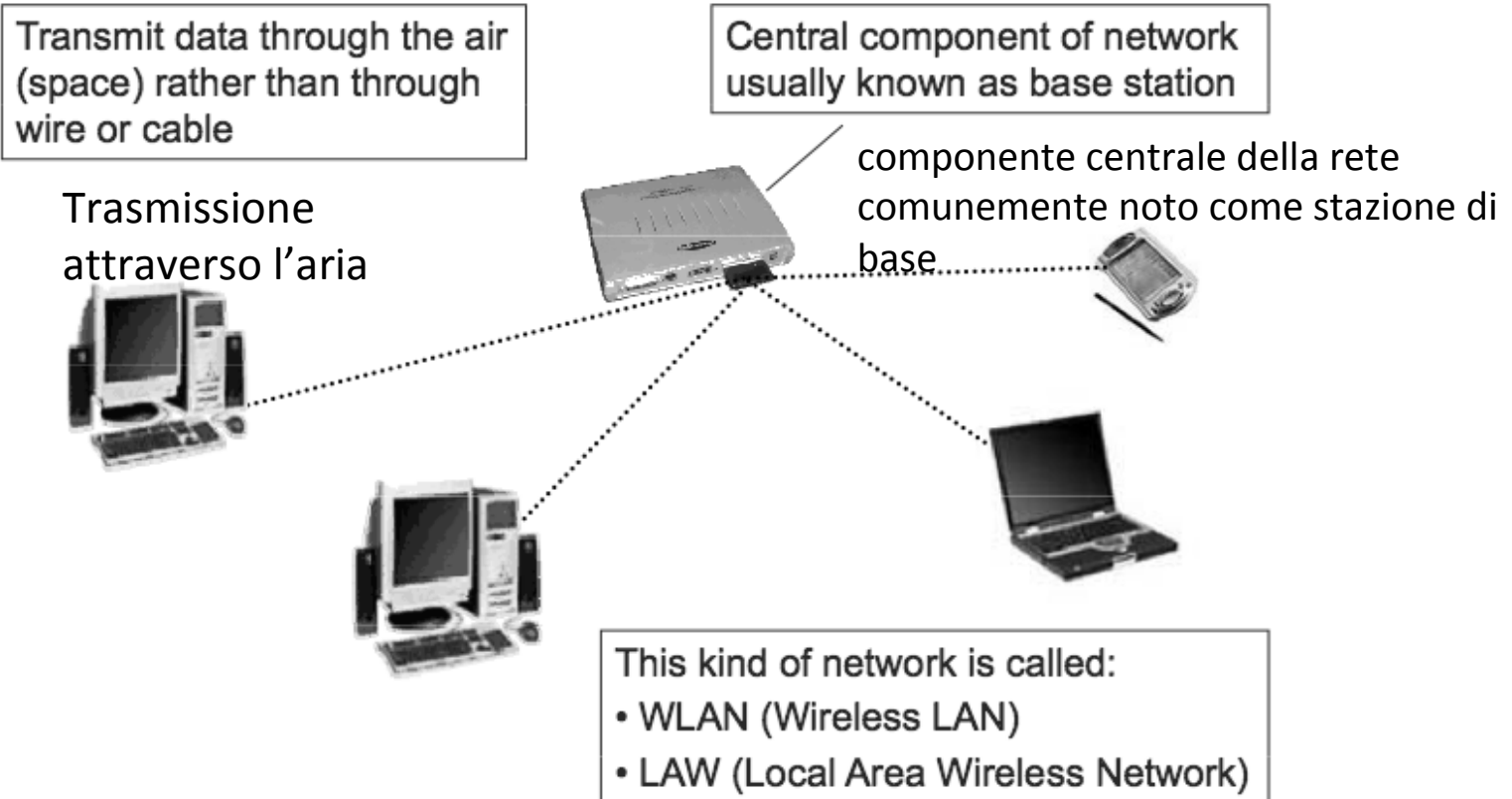
Comportamento FDDI

- Durante il normale funzionamento, solo l'anello primario viene utilizzato, l'anello secondario rimane disponibile(stato di pronto)
- In causa di rottura dell'anello principale, interviene l'anello di backup(chiamato anche anello di protezione)
- Se entrambi gli anelli si interrompono o una stazione cade, gli anelli possono essere combinati in un unico anello, che ha lunghezza doppia

FDDI

- **Tipo di collegamento**
 - CDDI:FDDI su rame
 - Meno immunità al rumore
- **Schema alternativo**
 - Stazioni collegate all'HUB
 - Viene chiamato star-shaped ring(anello a forma di stella)

Wireless LANs

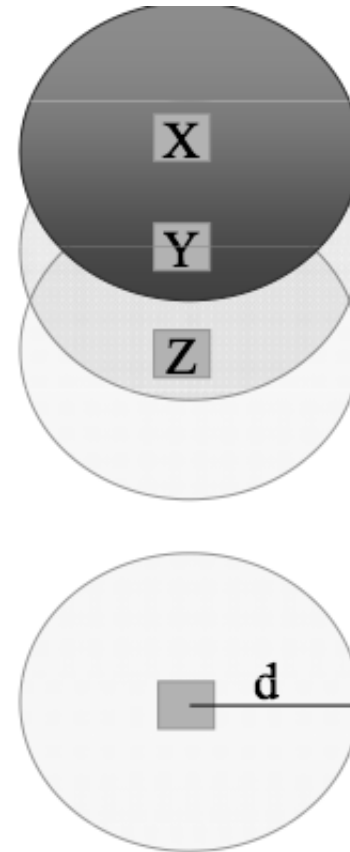


Wireless LANs

- **Estensione della LAN**
 - La Wireless network è collegata tramite un filo alla rete principale
- **Cross-building interconnect**
 - Collegamento Point-to-Point tra le reti in edifici separati
- **Nomadic Access**
 - Collegamento wireless tra hub Lan e terminale
- **Reti ad hoc**
 - Rete Peer-to-Peer(senza server centralizzato), istituito sul momento per soddisfare un bisogno immediato

Media Access on a Wireless Net

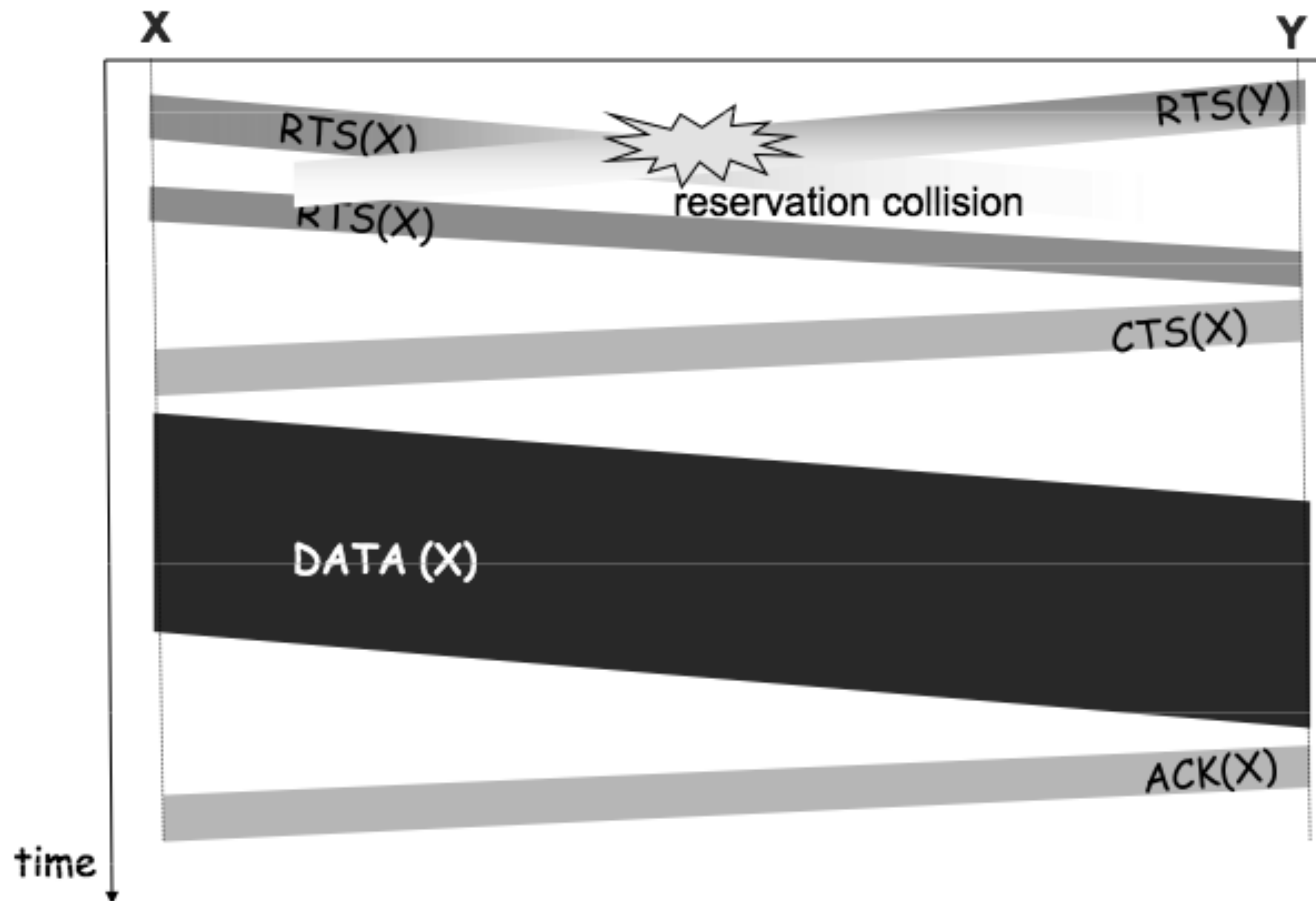
- ◆ Limited range
 - Not all the stations receive all transmissions
 - Cannot use CSMA/CD
- ◆ If the range is d for the station X, Y and Z
- ◆ Station X and Z do not receive each other transmissions



CSMA/CA

- CSMA più Collision Avoidance(CA) è utilizzata per le reti wireless
- Entrambi le parti si inviano piccoli messaggi seguiti da trasmissioni di dati
 - 1 “x sta per inviare a y” richiesta di invio (request to send RTS)
 - 2 “y sta per ricevere da x” clear to send (cts)
 - 3 Data Frame inviati da X a Y
- Tutte le stazioni in range of X or Y sono informate prima della trasmissione
- Le collisioni avvengono solo per i messaggi RTS e CTS

CSMA/CA



IEEE 802.22

- IEEE 802.11 è lo standard dominante per le reti Wireless
- IEEE 802.11 può essere facilmente collegata a reti LAN Ethernet
- **Stessa tipologia ethernet tradizionale**
 - Sia a physical star and a logical bus
 - Un punto centrale access point (AP), è un ricetrasmittitore che svolge il ruolo di hub
 - La portata max è di 100/500 metri a seconda delle interferenze

Access Point

- La stazione centrale ha diversi scopi:
- Connessione mobile nella rete
- Connessione mobile a un host dedicato a:
 - Poter eseguire l'autenticazione
 - Funziona da DHCP per assegnare l'indirizzo ip alla sottorete dell'AP

IEEE 802.11

- Il controllo degli accessi è gestito da CSMA/CA
- Codifica i dati per offrire un livello di privacy equivalente a quello LAN
- Wired Equivalent Privacy (WEP) security
- **Quattro versioni dello standard**
 - IEEE 802.11b
 - Operates at 2.4 GHz up to 11 Mbps
 - IEEE 802.11a
 - Operates at 5 GHz up to 54 Mbps
 - IEEE 802.11g
 - Operates at 2.4 GHz up to 54 Mbps
 - IEEE 802.11n
 - Operates at 2.4 GHz up to 600 Mbps

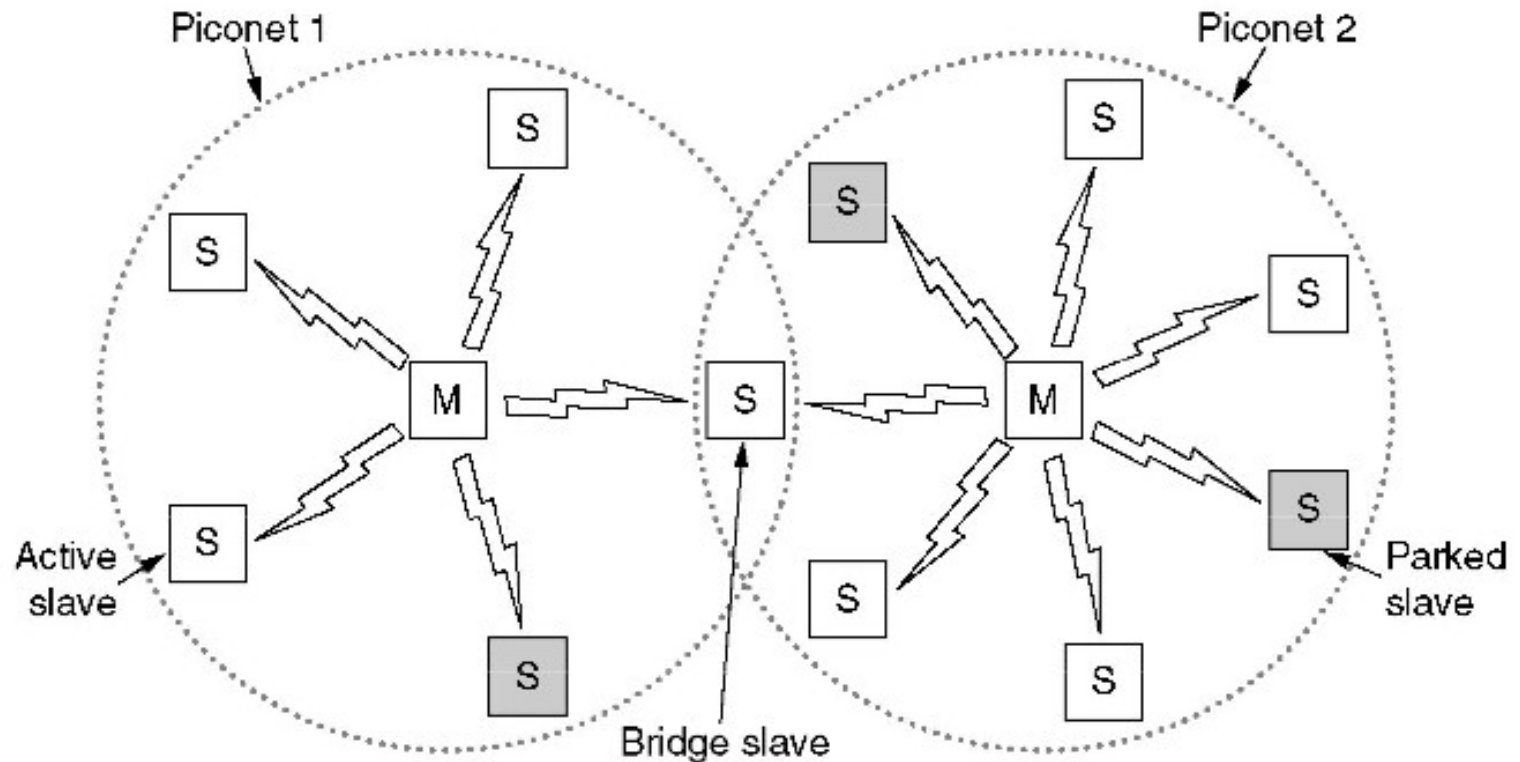
Personal Area Network

- Diametro di solito inferiore a 10m
- Usato di solito per sostituire i cavi per collegare differenti devices allo stesso sistema(mouse,keyboard, headphones)
- Rete ad hoc (senza infrastrutture) basato su interazioni di tipo master/slave
 - Lo Slave richiede il permesso di trasmettere (al Master)
 - Master approva le richieste

IEEE 802.1569

- Chiamato anche Bluetooth
 - Opera a 2.4Ghz
 - Offre traffico simmetrico fino a 185.6kbps
 - Offre traffico asimmetrico fino a 721 kbps
 - Ha un raggio di 10-100m
- Piconet è il nome sia del master che della rete
- Diversi devices possono essere collegati a un piconet(fino a 7 contemporaneamente)
- Più piconets possono essere collegati tra di loro per formare una rete ad hoc chiamata, multiple piconet structure o scatternet

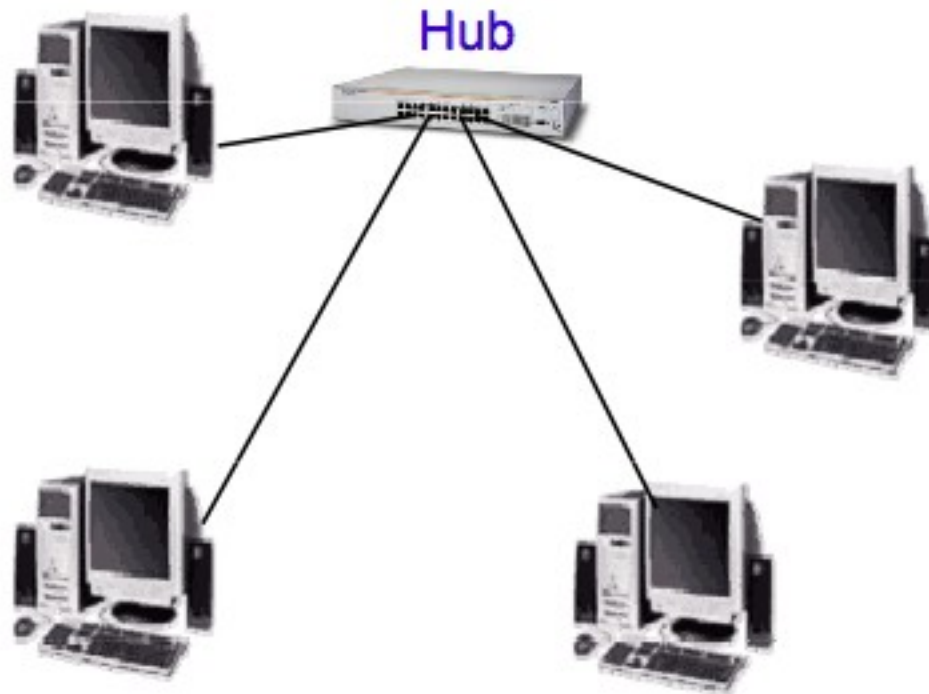
Scatternet Architecture



Estensione della rete Lan

- Ogni tecnologia Lan ha una distanza massima(ad esempio: 500 m max per ethernet)
 - Ritardo limitato
 - Energia limitata
- Tuttavia
 - Le aziende possono essere molto grandi
- la rete LAN può essere estesa mediante l'utilizzo di hardware speciale

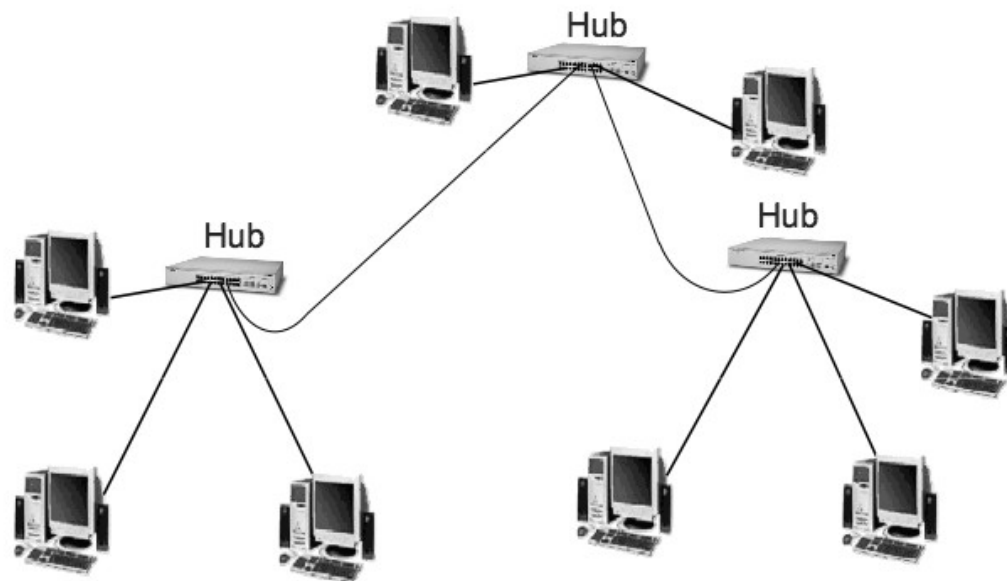
Hub



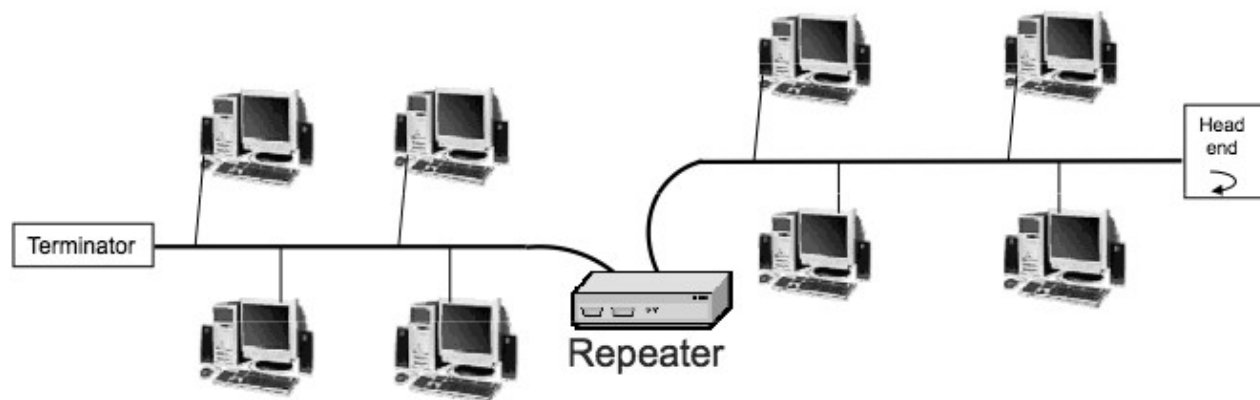
Hub

- Collegare diversi computer (es slide precedente)
- Funziona da elemento centrale nel layout a stella
- Opera a livello fisico(sui segnali)
- Quando un stazione trasmette, l'hub ripete il segnale sulla linea in uscita per ogni stazione
- Connessione fisica a stella, connessione logica a bus
- Collega differenti tipi di cavi, ma usa lo stesso data link e lo stesso protocollo di rete

Hierarchical Configuration



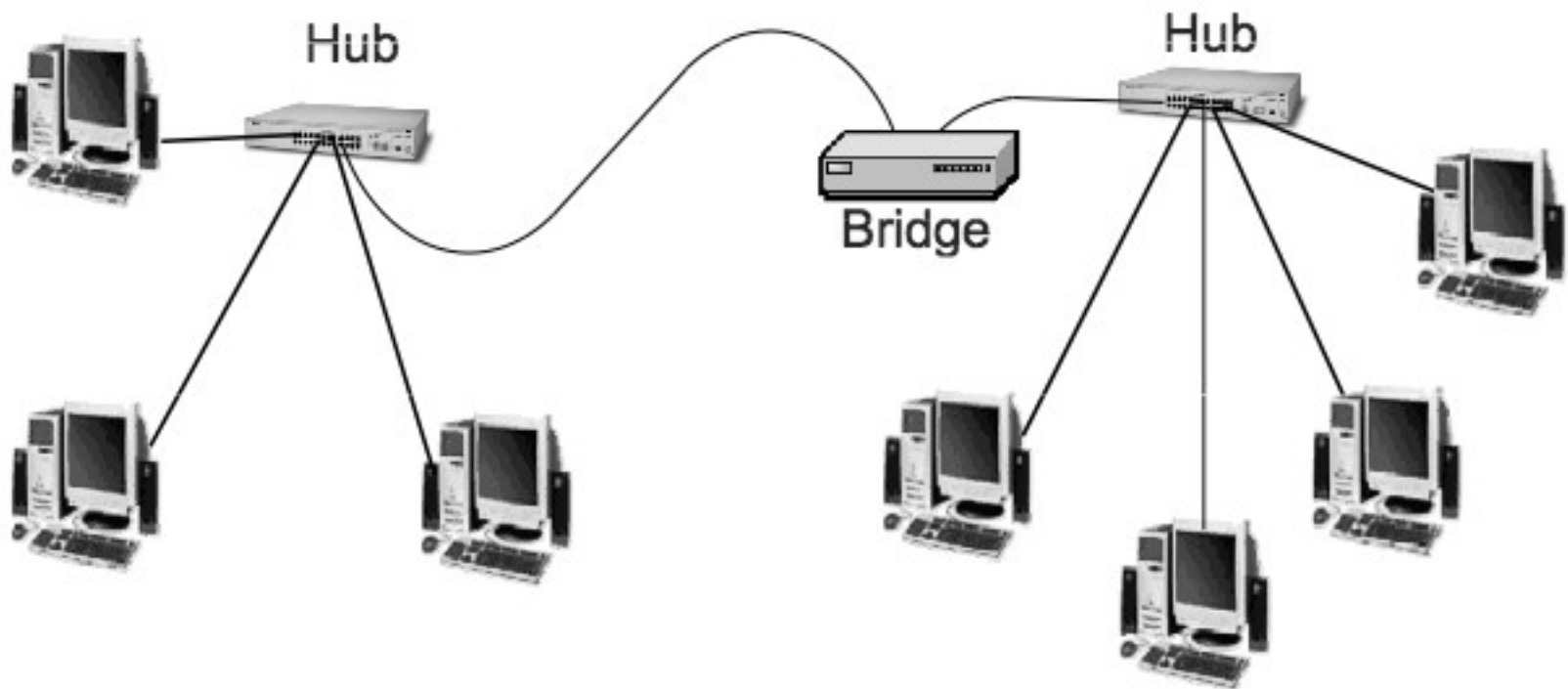
repeater



repeater

- Collega 2 reti LANs
 - usa lo stesso mezzo fisico e lo stesso link network layer protocols
- Amplifica e invia tutti i segnali elettrici tra i segmenti
 - Le collisioni sono amplificate e propagate
- Le stazioni non sanno se un ripetitore le separa
- La IEEE 802.3 imposta a 4 il numero massimo di ripetitori tra due stazioni

Bridge

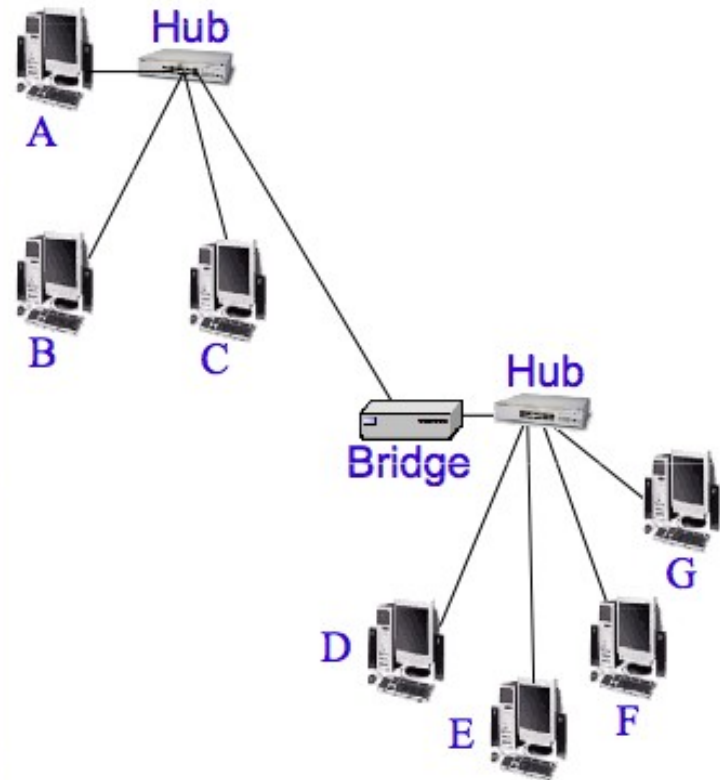


Bridge

- Collega 2 reti LAN
- Usa lo stesso mezzo fisico e lo stesso link layer protocol
- Consente la connessione tra LAN e WAN
- Opera al livello data link
- Forwards frames
- Vengono bloccati il rumore e le collisioni
- Apprende gli indirizzi e i filtri
- Only forwards if necessary
- Always forwards broadcast/multicast
- Fornisce una serie di vantaggi
- Affidabilità: creates self-contained units
- Performance: meno contesa
- Sicurezza: i dati non vengono trasmessi a tutti gli utenti
- Geografia: consente collegamenti a lunga distanza

Addresses learning (apprendimento degli indirizzi)

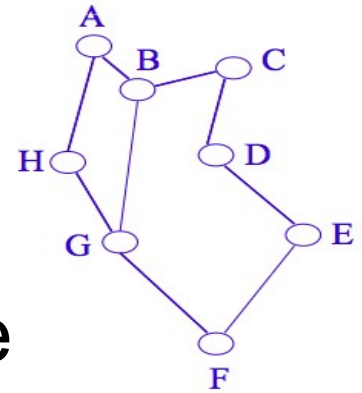
Event	List1	List 2
Bridge boots	[]	[]
A sends D	[A]	[]
E send C	[A]	[E]
G sends E	[A]	[E,G]
D broadcasts	[A]	[D,E,G]
C sends G	[A,C]	[D,E,G]
B sends A	[A,B,C]	[D,E,G]
F sends B	[A,B,C]	[D,E,F,G]



Bridges cycle

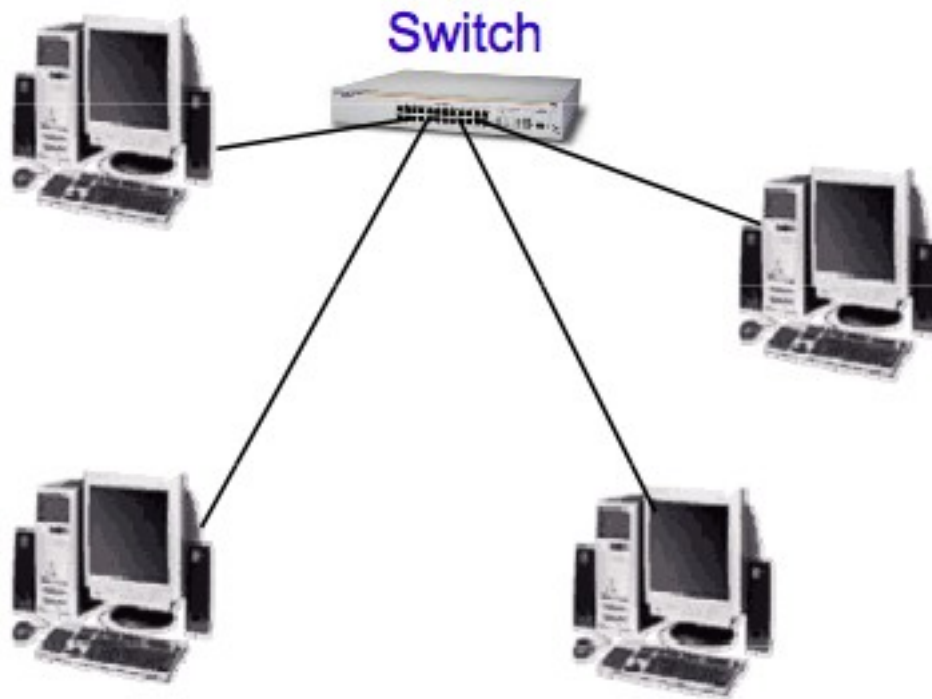
- Complex bridge connections may introduce a cycle
 - Incorrect propagation of frames (e.g., broadcast frame)
- Bridges use Distributed Spanning Tree algorithm
 - Discovers one another
 - Breaks cycles

Misurazione - procedura dell'albero



- Ogni ponte ha un unico identificatore
- Bridge con identificativo più piccolo diventa la radice
- Ogni bridge calcola la distanza del percorso più breve fino al bridge di root
- Ogni LAN individua un bridge designato, il bridge più vicino alla root. Si inoltrano i pacchetti alla root
- Ogni bridge determina una porta principale, che sarà utilizzata per inviare i pacchetti alla radice

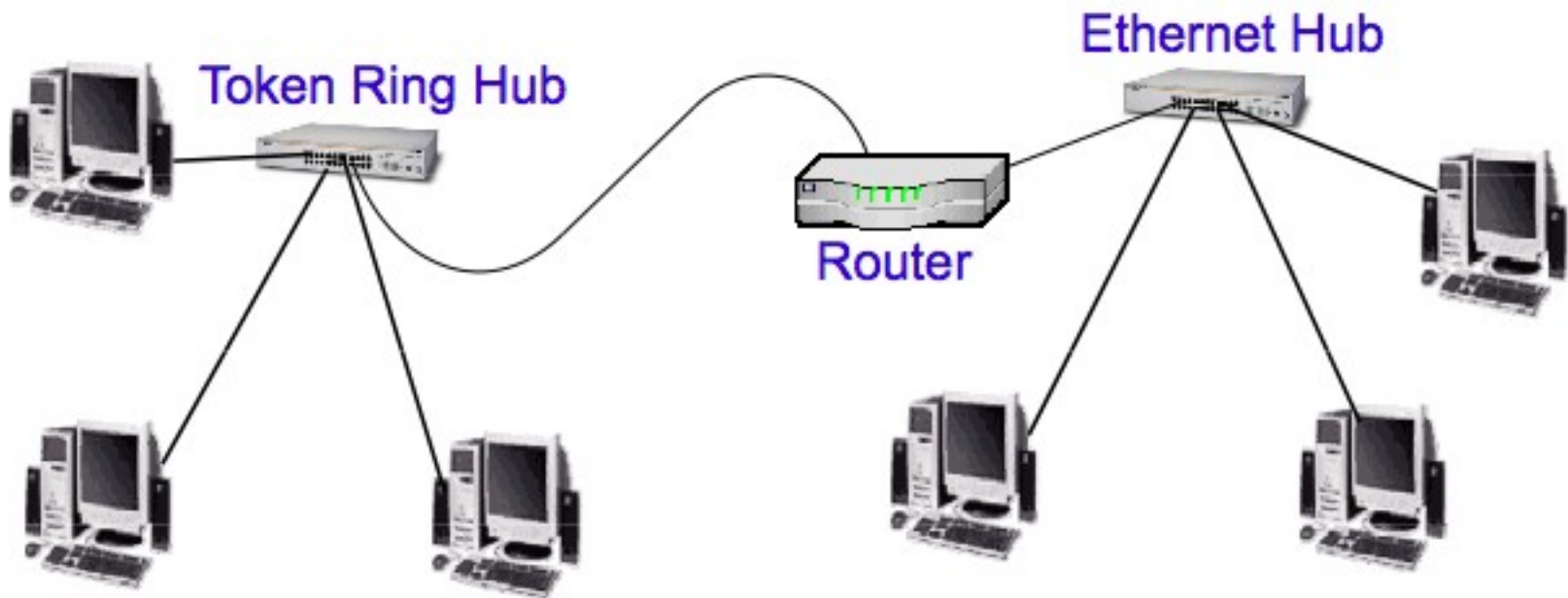
switch



switch

- Fisicamente simile a un hub
- Logicamente simile a un bridge
 - Opera sui pacchetti
 - Comprende gli indirizzi
 - Only forwards when necessary
- Permette a coppie di computer di comunicare contemporaneamente
- Costo superiore a un hub

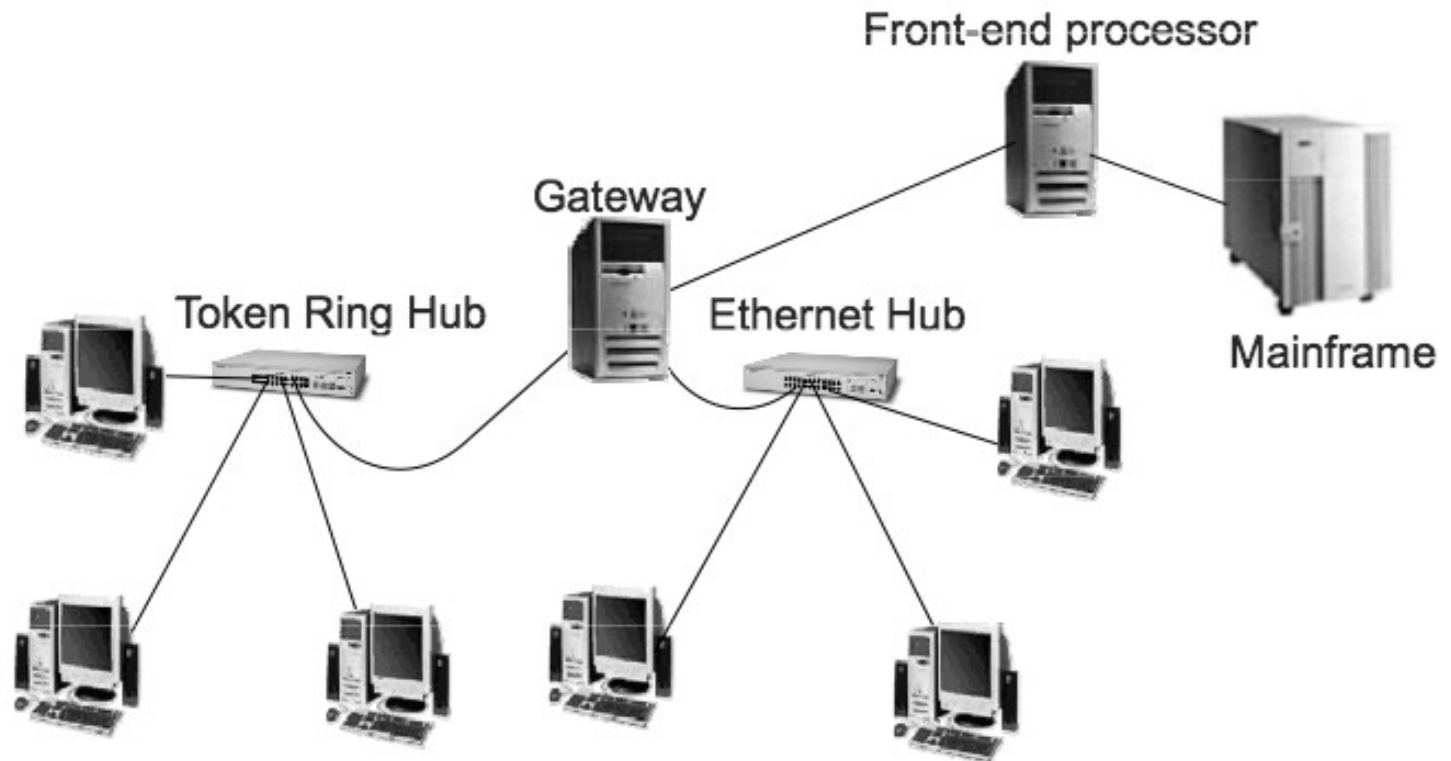
router



router

- **Collega 2 o più reti LAN**
 - Usa lo stesso o diversi data link protocols
 - Ma lo stesso network protocol
- **Opera a livello di rete**
- **Rispetto a un Bridge il router esegue l'elaborazione su ogni messaggio**
 - opera più lentamente
- **Ma:**
 - Può scegliere il percorso migliore
 - Può collegare reti che utilizzano diversi Data Link Protocols
 - È in grado di modificare data link layer packets
 - Può dividere un messaggio in più messaggi piccoli per la trasmissione

Gateway



Gateway

- Collega 2 o più lan insieme
- Usa lo stesso o diverso (in genere diverso) Data Link e network protocols
- Utilizza lo stesso o diverso tipo di cavo
- Opera a livello di rete
- Traduce un tipo di protocollo di rete in un altro protocollo di rete(network protocol)
- Traslates data formats
- Apre sessioni tra programmi applicativi
- Superando incompatibilità sia hardware che software
- Può essere un microcomputer autonomo o persino uno speciale circuit card nel network server