



Reti

(già "Reti di Calcolatori")

Livello Collegamento
Ethernet – LAN – ADSL - WiFi

Renato Lo Cigno

<http://disi.unitn.it/locigno/index.php/teaching-duties/computer-networks>

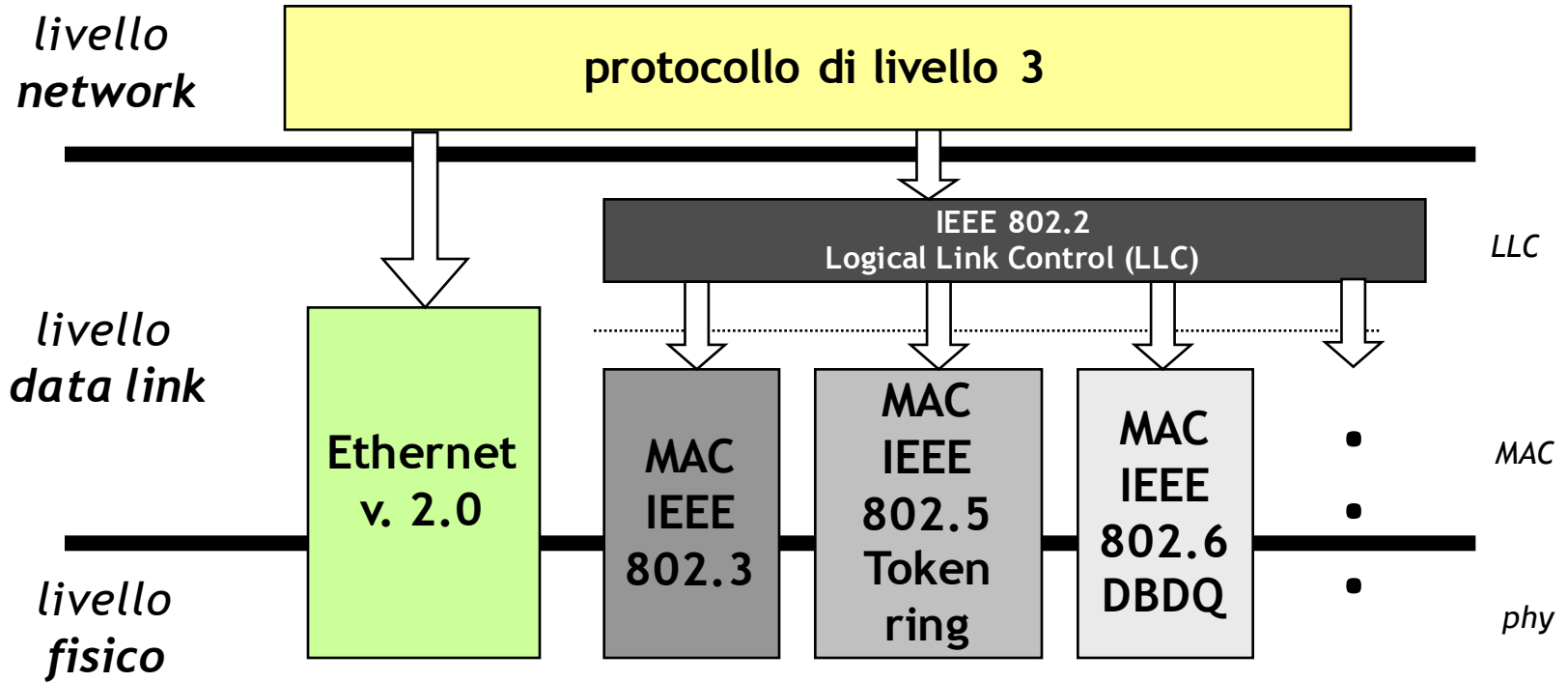
- *Credits*
 - *Part of the material is based on slides provided by the following authors*
 - *Jim Kurose, Keith Ross, “Computer Networking: A Top Down Approach,” 4th edition, Addison-Wesley, July 2007*
 - *Douglas Comer, “Computer Networks and Internets,” 5th edition, Prentice Hall*
 - *Behrouz A. Forouzan, Sophia Chung Fegan, “TCP/IP Protocol Suite,” McGraw-Hill, January 2005*
- *La traduzione, se presente, è in generale opera (e responsabilità) del docente*



- IETF non specifica i protocolli sotto IP ma solo l'interfaccia che IP "vuole vedere"
- I protocolli DL e PHY sono "technology dependent"
 - L'evoluzione delle tecniche di trasmissione e di elaborazione dei segnali e dell'informazione determinano i dettagli dei protocolli
- Come sono stati "istanziati" i principi di condivisione del canale (MAC) nelle reti e nei collegamenti che usiamo?
- Di fatto ci sono decine di diverse tecnologie e protocolli
 - Reti di accesso (domestiche e non)
 - Reti di backbone
 - Comunicazioni elettriche, ottiche, radio
- ...



- Noi ci occupiamo solamente di LAN e di reti di accesso domestiche
- Le reti di backbone sono dominate da collegamenti ottici punto-punto
 - Problemi concettualmente poco interessanti (da un punto di vista dei protocolli)
 - Molto complessi per ragioni di tipo commerciale e “legacy”
- Accesso “campus” → standard 802 e Ethernet
- Accesso domestico → WLAN (802.11) e ADSL





- Standardization process started in the '80s by IEEE 802 project:
 - ✓ 802.1: LAN *Internetworking*
 - ✓ 802.2: LLC Sublayer
 - ✓ 802.3: CSMA/CD: *Ethernet* is a small (1-bit in the header) variation of 802.3
 - ✓ 802.4: *Token Bus*
 - ✓ 802.5: *Token Ring*
 - ✓ 802.6: DQDB (for MANs)



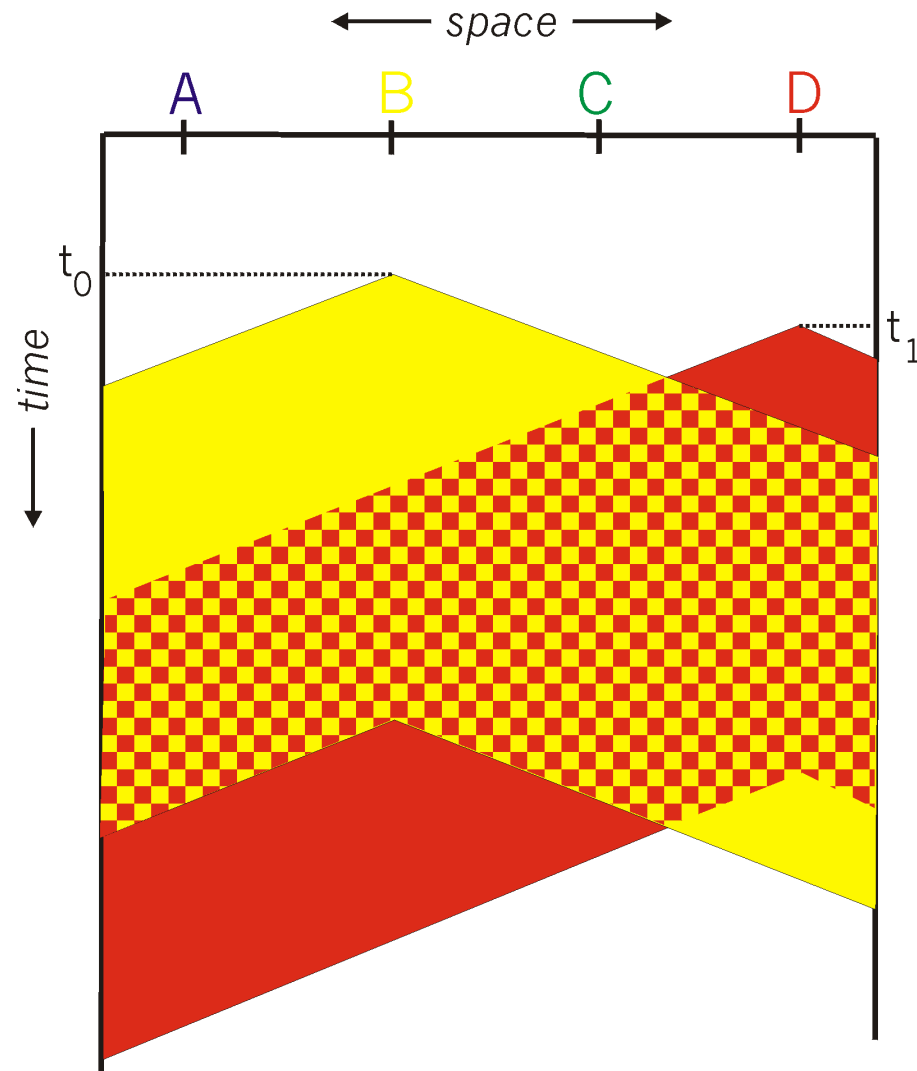
- Work is still going on in many technical committees and new committees are founded every year (or close to):
 - ✓ 802.7: Broadband Technical Advisory Group
 - ✓ 802.8: Fiber-Optic Technical Advisory Group
 - ✓ 802.9: Integrated Data and Voice Networks
 - ✓ 802.10: Network Security
 - ✓ **802.11: Wireless Networks (/a/b/g/h/f/s/n/p/ac/...)**
 - ✓ 802.12: 100base VG
 - ✓ 802.13: 100base X
 - ✓ **802.15: Personal Area Networks (.1 [Bluetooth]4 (ZigBee))**
 - ✓ **802.16: Wireless MAN (WiMax & Co.)**
 - ✓ ...



- Gli standard Ethernet e 802.3 implementano un livello MAC di tipo **CSMA/CD 1-persistent**
- In caso di collisione, l'istante in cui ritrasmettere viene calcolato utilizzando un algoritmo di **binary exponential backoff**
 - dopo i collisioni, l'host attende prima di ri-iniziare la procedura di trasmissione un tempo casuale nell'intervallo $[0, 1, \dots, 2^i-1]$
 - vincoli
 - dopo 10 collisioni il tempo di attesa è limitato all'intervallo $[0, 1, \dots, 1023]$
 - dopo 16 collisioni viene riportata una *failure* al sistema operativo

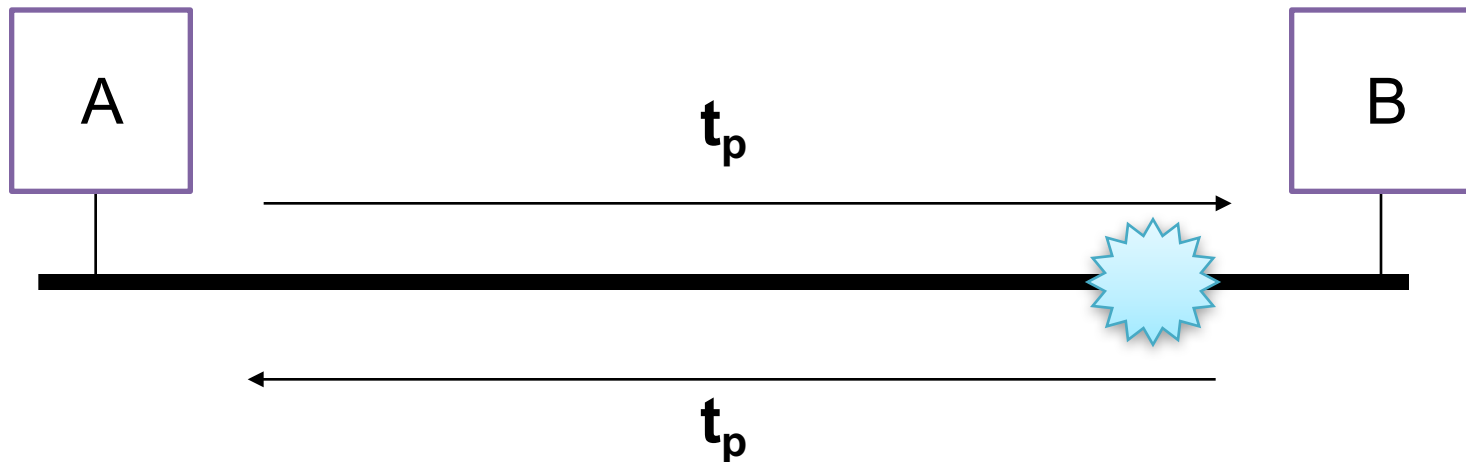


- Si verificano
 - a causa dei ritardi di propagazione e sono inevitabili
 - soprattutto a causa della scelta 1-persistente
- Collisione: spreco completamente tempo di trasmissione pacchetti
- la distanza (ritardo di propagazione) gioca ruolo fondamentale nella probabilità di collisioni
- con pacchetti di grandi dimensioni, a parità di traffico trasmesso, riduco il numero di contese, e quindi di collisioni



- È il tempo necessario, nel caso peggiore, al segnale inviato da una stazione per arrivare all'altro estremo del cavo e a tornare indietro

$$\text{Round Trip Delay} = 2 t_p$$



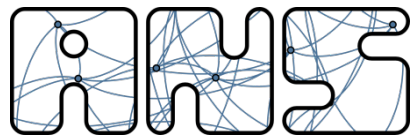


- Dipendenti da rapporto tra dimensione della rete e dimensione del pacchetto
- Lo 'spreco' di risorse è legato al rapporto tra il tempo di propagazione t_p e il tempo di trasmissione del pacchetto T_{tx}

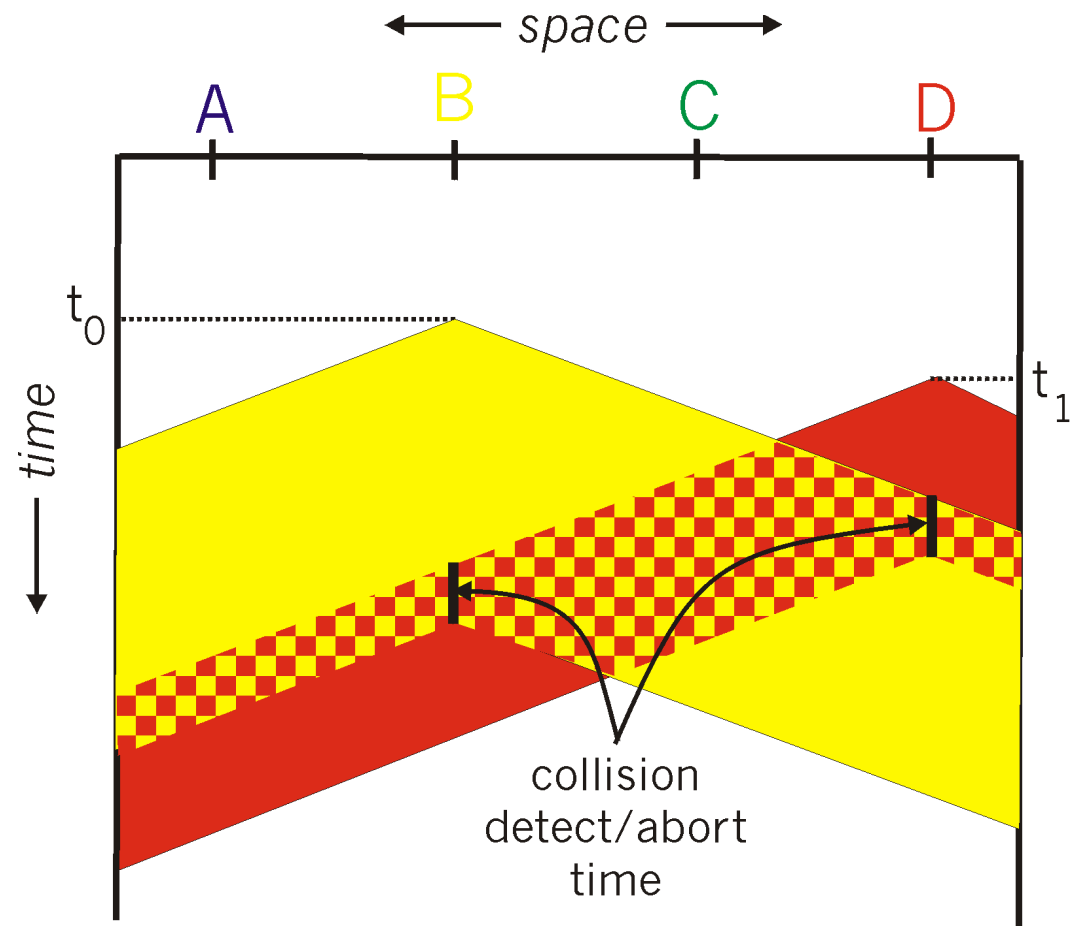
$$a = \frac{t_p}{T_{TX}}$$



- Vantaggi di CSMA/CD su CSMA:
 - se mi accorgo (in fretta) delle collisioni sospendo la trasmissione del pacchetto
 - riduco lo spreco dovuto ad una trasmissione inutile
- Collision detection:
 - facile nelle LAN cablate: misuro potenza segnale, confronto segnale ricevuto e trasmesso
 - difficile in LAN wireless: half duplex (quando trasmetto ricevitore disattivo)



È necessario che il rapporto T_{tx}/t_p sia tale da consentire l'identificazione della collisione e che venga trasmessa una sequenza speciale (dopo aver rilevato la collisione) per consentire a tutti di “capire” che c'è stata una collisione



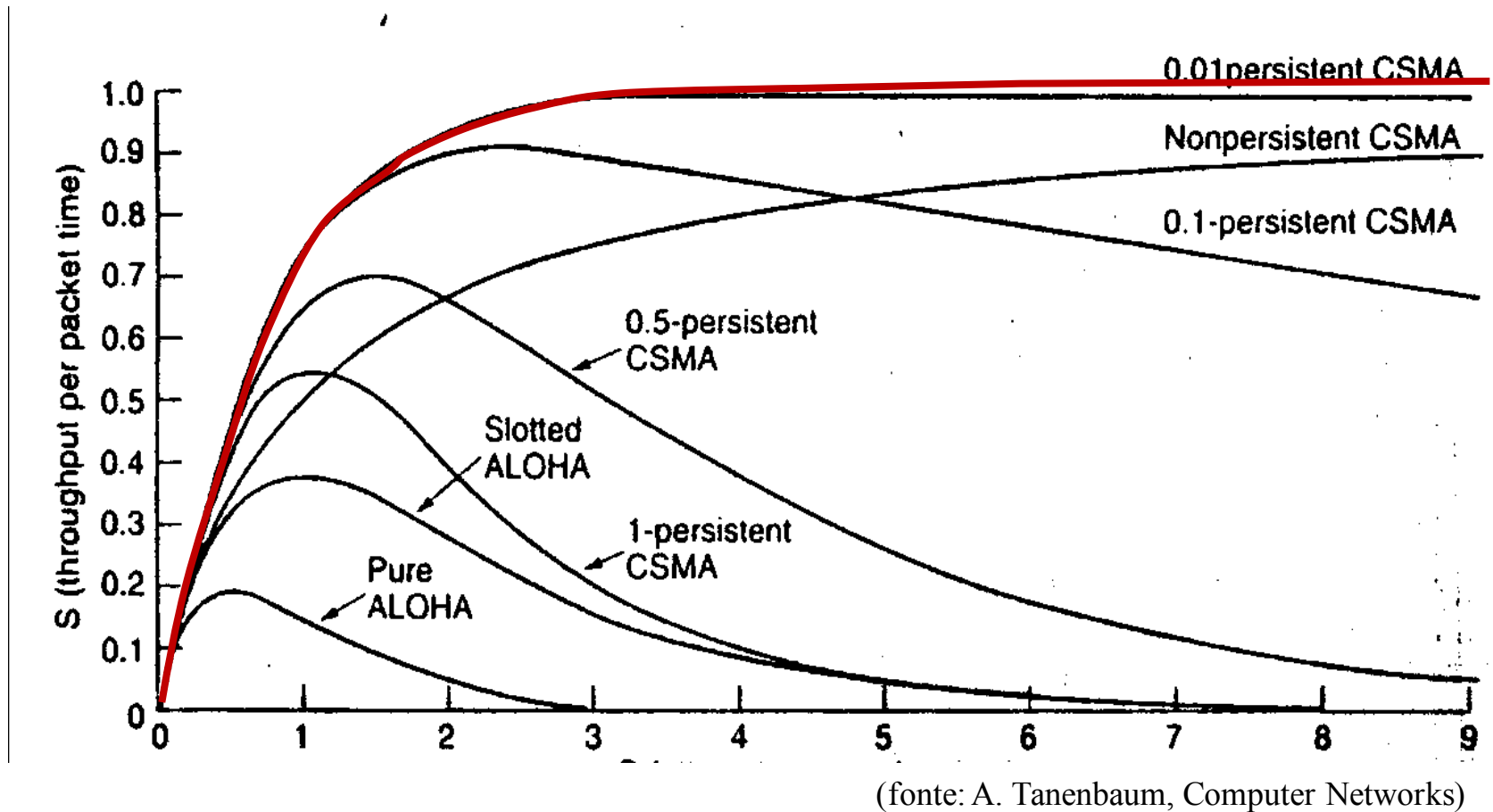


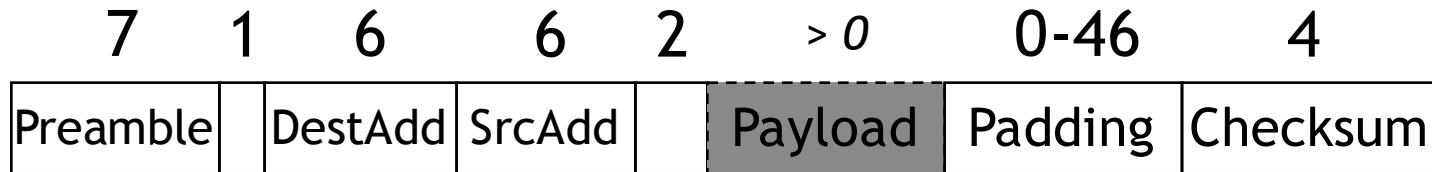
Si hanno prestazioni migliori

- su reti piccole: riduco periodo di vulnerabilità (pari al ritardo di propagazione sul canale)
- su reti piccole rispetto alla dimensione del pacchetto (parametro ' a ' piccolo): riduco lo spreco
- con velocità di trasmissione bassa: pochi bit trasmessi quando rilevo collisione
- CSMA/CD 1p è quasi ideale se $a \rightarrow 0$... ma in questo caso ho una rete inutile, perché vuole dire avere o una rete di dimensione nulla o $T_{tx} \rightarrow$ infinito



Prestazioni approssimative CSMA/CD-1p con backoff binario



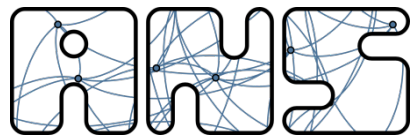


Start of _____

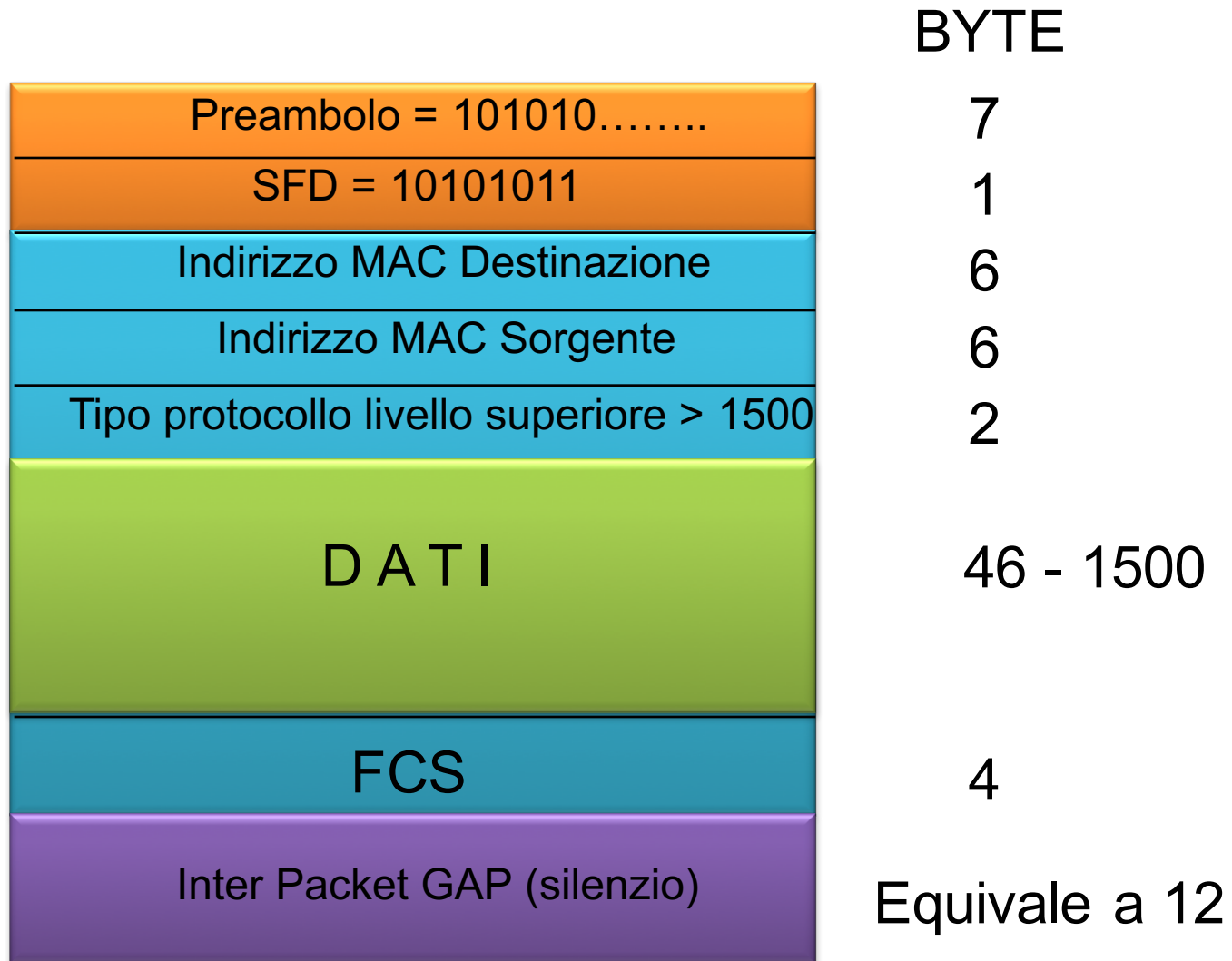
frame delimiter

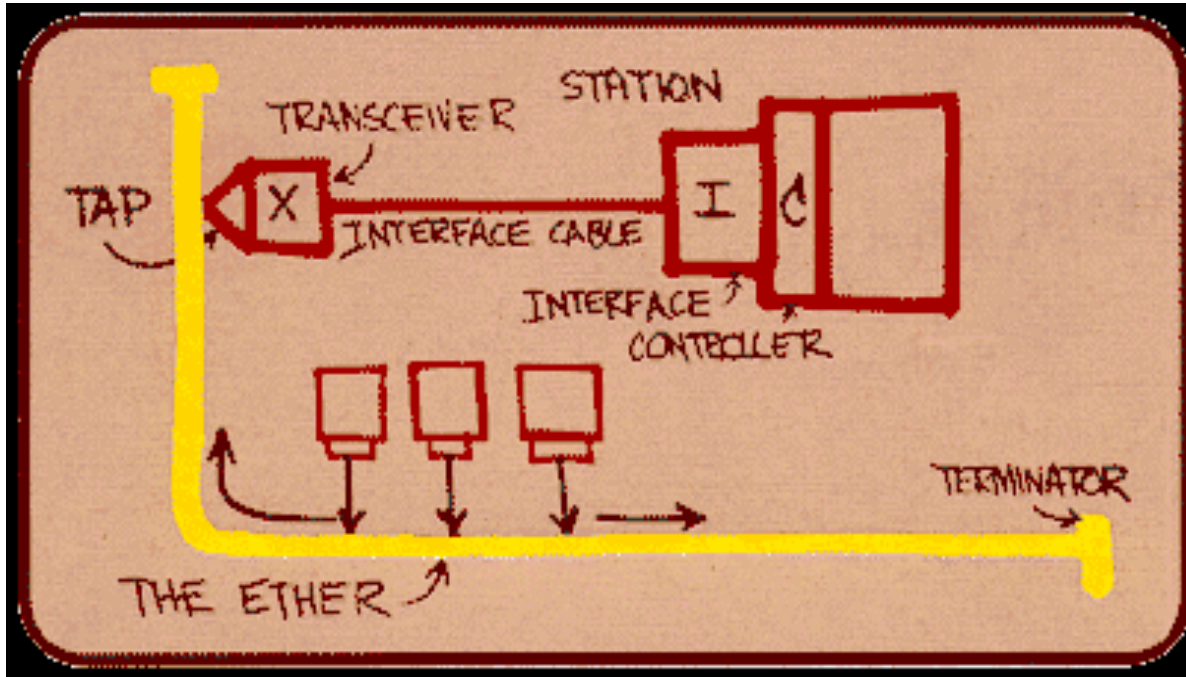
Length of payload

- Preambolo (7 byte)
 - sequenza di byte “10101010” utilizzata per sincronizzare il ricevitore
- Start of frame (1 byte)
 - flag di inizio della trama “10101011”
- Addresses (6 byte)
 - indirizzi destinazione e sorgente della trama
- Length (2 byte)
 - lunghezza in byte della trama (0-1500)
 - se > 1500 indica Protocol Type
- Payload
 - informazione trasmessa
- Checksum
 - codice per rilevazione di errore



Ethernet formato della trama

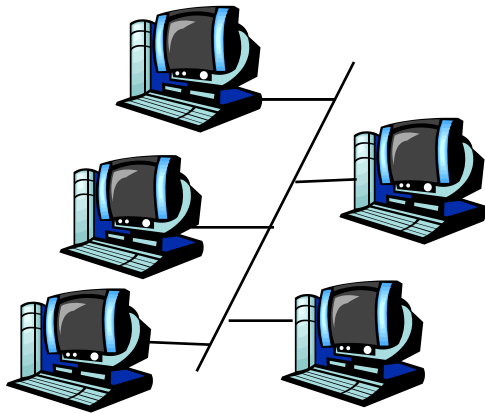




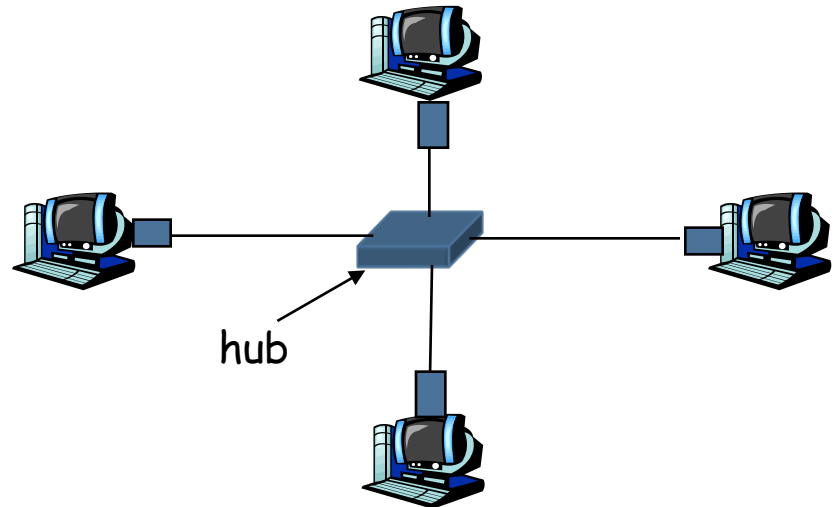
- Cavo coassiale
- Topologia a bus
- Su transceiver cable ho segnali tx, rx e collisione rivelata (e alimentazione)

- Lunghezza massima segmento coassiale 500 m (max 100 stazioni) per problemi "elettrici"
- Lunghezza massima transceiver cable 50 m
- Max 5 ripetitori tra due stazioni (circa 2500 m più ritardi dei ripetitori e transceiver cable fanno una dimensione equivalente di 2800m)

- Il mezzo condiviso può essere un cavo coassiale oppure un “hub”
- Hub: dispositivo attivo (concentratore di cablaggio) che ripete il segnale da una porta su tutte le altre
 - In pratica un repeater multi-porta



Bus: cavo coassiale



Topologia a stella



- Il T_{tx} di una trama non può essere inferiore a $2t_p$
- La velocità del mezzo trasmissivo e le dimensioni della rete determinano quindi la lunghezza minima della trama
- La lunghezza di trama dipende anche dall'IPG (Inter-Packet Gap), che segnala la fine trama

- La dimensione massima di una rete si chiama Diametro del Collision Domain
- Il Collision Domain è la porzione di rete fisica in cui possono avvenire collisioni e sono rilevate



- Il collision domain è quella porzione di rete Ethernet in cui, se due stazioni trasmettono simultaneamente, le due trame collidono
 - spezzoni di rete connessi da repeater (amplificatori) sono nello stesso collision domain
 - spezzoni di rete connessi da dispositivi di tipo store and forward (bridge, switch o router) sono in collision domain diversi



- Con il termine diametro di un collision domain si indica la distanza massima tra ogni possibile coppia di stazioni
- Il diametro massimo di un collision domain a 10Mbit/s è di 2800m e dipende
 - dal ritardo di propagazione (round trip delay)
 - dalla dimensione minima delle trame



- Per garantire buone prestazioni (collisioni ridotte) non bisogna caricare troppo la rete
- Protocollo semplice e totalmente distribuito
- Non avendo un ritardo massimo non è adatto ad applicazioni real-time
- Ritardi di accesso piccoli a basso carico
- Standard per LAN più diffuso quindi ampia disponibilità di componenti di basso costo
- Non esistono conferme di avvenuta ricezione
- Non gestisce priorità

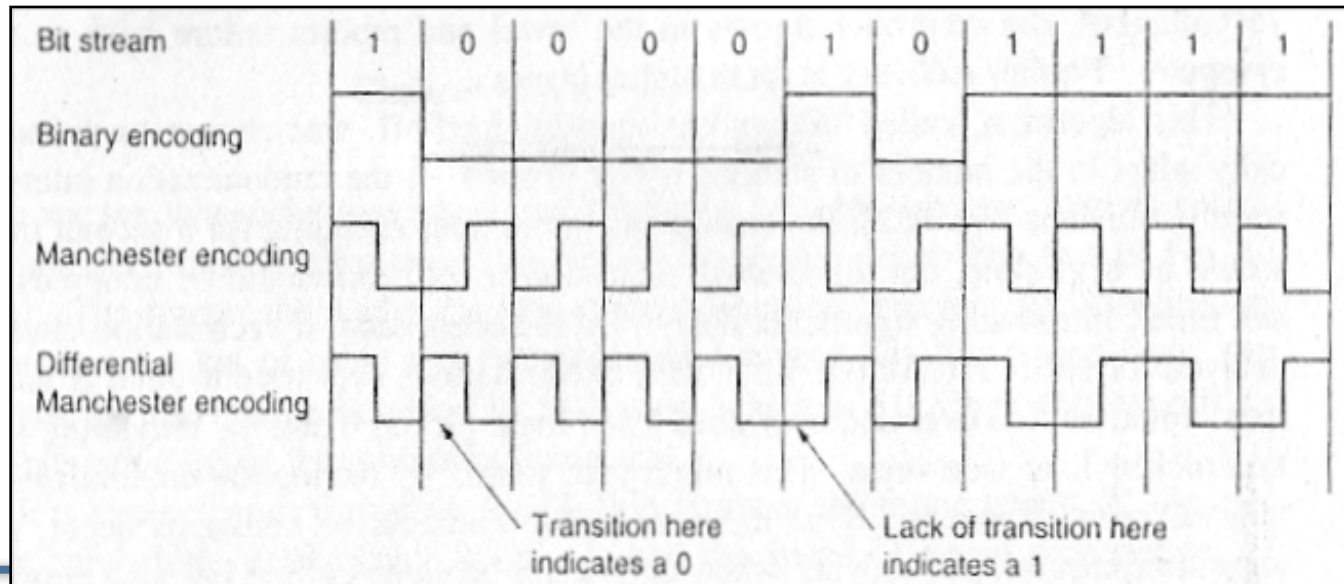


- Velocità trasmissione: 10 Mb/s (bit time = $0.1 \mu\text{s}$)
- Codifica Manchester (20Mbit/s di clock per facilitare recupero sincronismo in rete asincrona)
- Stazioni: max 1024 (2^{10})
- Mezzi trasmissivi:
 - 10 BASE 5: cavo coassiale spesso RG213
 - 10 BASE 2: cavo coassiale sottile RG58
 - 10 BASE T: doppino UTP da 100 Ohm
 - 10 BASE FL, 10 BASE FB, 10 BASE FP: fibra ottica multimodale

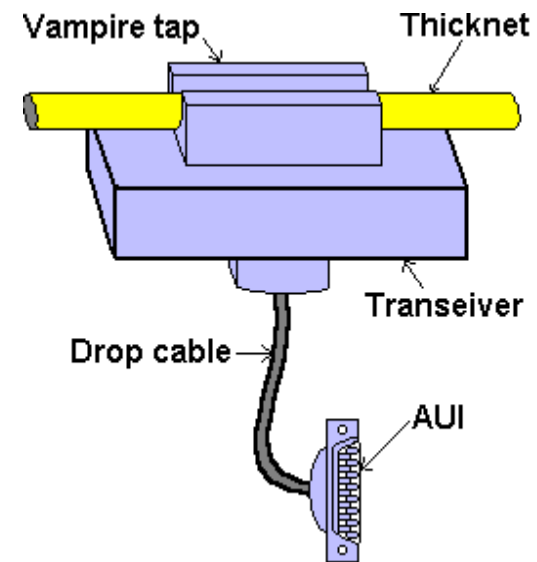
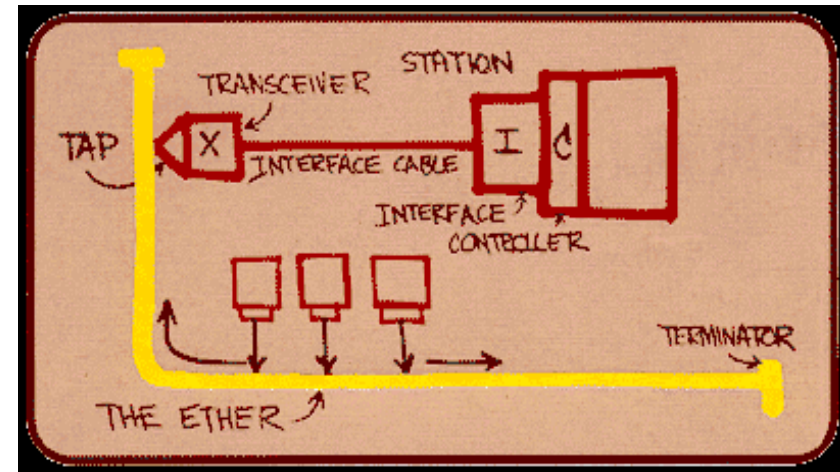


- Topologie:
 - bus o albero di bus: 10 BASE 5, 10 BASE 2
 - stella: 10 BASE T, 10 BASE FB, 10 BASE FP
- Possono essere utilizzati repeater
 - decodificano e ricodificano Manchester
 - rilevano collisione e la inoltrano su tutte le porte
 - rigenerano preambolo (802.3)
 - isolano segmenti di rete se si verificano 30 collisioni consecutive o se l'impedenza è disadattata
 - possono ridurre preambolo e non modificare inter-packet gap o viceversa

- Tradizionale
 - ogni periodo di bit è suddiviso in due sottoperiodi
 - “0” \Rightarrow basso,alto
 - “1” \Rightarrow alto basso
- Differenziale
 - ogni periodo di bit è diviso in 2 sottoperiodi
 - “1” assenza di transizione all’inizio del periodo di bit
 - “0” transizione all’inizio del periodo di bit



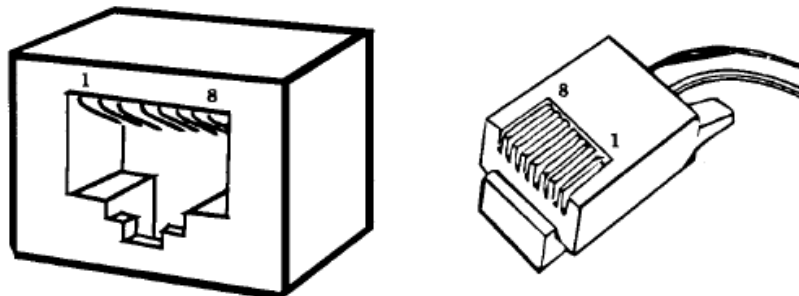
- Cavo coassiale spesso
 - stazioni collegate con transceiver cable e connessione a vampiro su cavo coassiale
- Su transceiver cable ho segnali tx, rx e collisione rivelata (e alimentazione)
- Topologia a bus, oppure a bus interconnessi a 10 Mb/s
- Lunghezza massima segmento coassiale 500 m (max 100 stazioni)
- Lunghezza massima transceiver cable 50 m
- Max 2 ripetitori tra due stazioni



- Cavo coassiale sottile
 - stazioni connesse direttamente al cavo con connettore a T
- Transceiver incorporato nella scheda
- Lungh max segmento coassiale 185 m (max 30 stazioni)
- Stesse configurazioni di 10BASE 5 fino a 2800 m max
- Max 4 ripetitori tra due stazioni

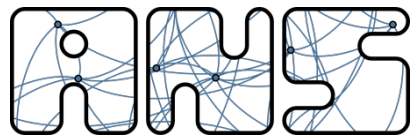


- Doppino UTP (Unshielded Twisted Pair)
- Collegamento punto punto tra stazioni e repeater (hub)
- Adatto a cablaggi strutturati
- Lunghezza massima del cavo 100 m
- Connettori RJ45 ad 8 fili (simile al telefono)

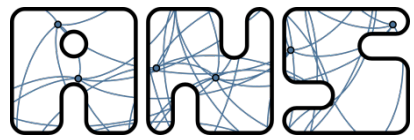




- Slot time = 512 bit time ($51.2 \mu\text{s}$)
 - unità base di attesa prima di una ritrasmissione (pari ad un pacchetto di dimensione minima)
- In caso di n-esima collisione di un pacchetto, si ritrasmette dopo ritardo casuale estratto tra 0 e $2^k - 1$ slot time, con $k = \min(n, 10)$
- Backoff limit = 10
 - Numero di tentativi oltre al quale non aumenta più il valor medio del back-off
- Attempt limit $n=16$
 - Massimo numero di tentativi di ritrasmissione



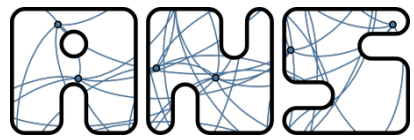
- Inter Packet Gap = $9.6 \mu\text{s}$
 - Distanza tra due pacchetti
- Jam size = da 32 a 48 bit
 - Lunghezza della sequenza di jamming
- Max frame size = 1518 ottetti
 - Lunghezza massima del pacchetto (esclude preambolo e interpacket gap)
- Min frame size = 64 ottetti (512 bit)
 - Lunghezza minima del pacchetto
- Address size = 48 bit
 - Lunghezza indirizzi MAC



- Pacchetto minimo 64 byte = 512 bit, ovvero 51.2 μ s
- Round trip delay massimo ammesso dallo standard: 45 μ s
- Si rispetta la condizione che il ritardo di propagazione non eccede la minima durata del pacchetto per garantire il rilevamento delle collisioni



- Fast Ethernet
 - Ethernet a velocità di 100Mbps
 - Sia con commutazione (switch) che con protocollo CSMA/CD
- Gigabit Ethernet
 - formato e dimensione dei pacchetti uguale a Ethernet/802.3
 - velocità di 1 Gbps
 - ormai disponibile anche a 10 Gbps
 - Solo commutata
 - Permette di velocizzare le moltissime LAN Ethernet e FastEthernet già presenti con costi contenuti tramite sostituzione apparati di rete (Hub, Switch, interfacce)



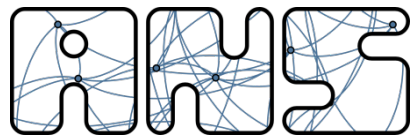
- Mantiene inalterato l'algoritmo CSMA-CD realizzato con 10Base-T e la dimensione dei pacchetti
- Tre standard per mezzi fisici (doppino su 4 coppie, doppino su 2 coppie, fibra)
- Trasmissione codifica 4B5B (di fatto si trasmettono 5 bit sul canale ogni 4 bit di informazione: la velocità effettiva sul canale è 125 Mbit/s)
- Riduce le dimensioni della rete
- **La massima distanza tra due stazioni (collision domain) scende a 210m**
- Interoperabilità con Ethernet 10Base-T



- Uso formato di trama 802.3
- Operazioni half duplex e full duplex, ma usato in pratica solo in full duplex
 - si perdono vincoli legati a collision domain
 - CSMA/CD non utilizzato
- Controllo di flusso (definizione di master/slave – non usato in pratica)
- Backward compatibility con mezzi fisici già installati (10baseT)
- Aumenta di un fattore 10 dimensione minima di pacchetto con padding di caratteri speciali per consentire l'uso di CSMA/CD se necessario
- Definizione di Jumbo Frames per aumentare throughput massimo
 - Serve anche a consentire l'annidamento di protocolli e il tunneling



- Slot portato da 64 a 512 bytes (se ho pacchetti piccoli le prestazioni sono basse)
- Collision domain di 200 m
- Solo topologie a stella
- Consente la tecnica “frame bursting” (o Jumbo Frames) per mantenere il controllo del canale fino ad un massimo di 8192 bytes (l'estensione della lunghezza minima del pacchetto è necessaria solo per il primo pacchetto)
- Di fatto usato solo con switch, per cui non necessitano tutte queste modifiche visto che non si usa CSMA/CD

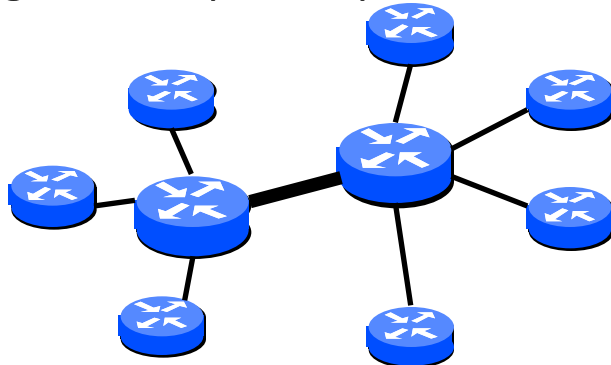


10 Gigabit Ethernet

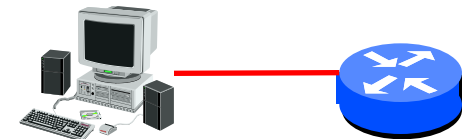
- Il comitato IEEE 802.3 ha standardizzato 10, 40 e 100 Gbit/s Ethernet
- Solo la modalità full duplex, senza CSMA-CD
- Soluzioni proposte:
 - Seriale, con framing Ethernet, su distanze da LAN fino a 40 Km
 - 65 m su fibra multimodo (MMF)
 - 300 m su MMF installata
 - 2 km su fibra monomodo (SMF)
 - 10 km su SMF
 - 40 km su SMF
 - Altre soluzioni per distanze anche maggiori di 40km
- Per maggiori informazioni:
 - www.10gea.org
 - www.ieee802.org

- Point-to-Point Protocol: E' un protocollo di livello 2 utilizzato sia nell'accesso e che nel backbone
- Caratteristiche principali:
 - character oriented
 - character stuffing per il framing
 - identificazione degli errori
 - supporta vari protocolli di livello superiore (rete)
 - negoziazione dinamica degli indirizzi IP

collegamento punto-punto tra router

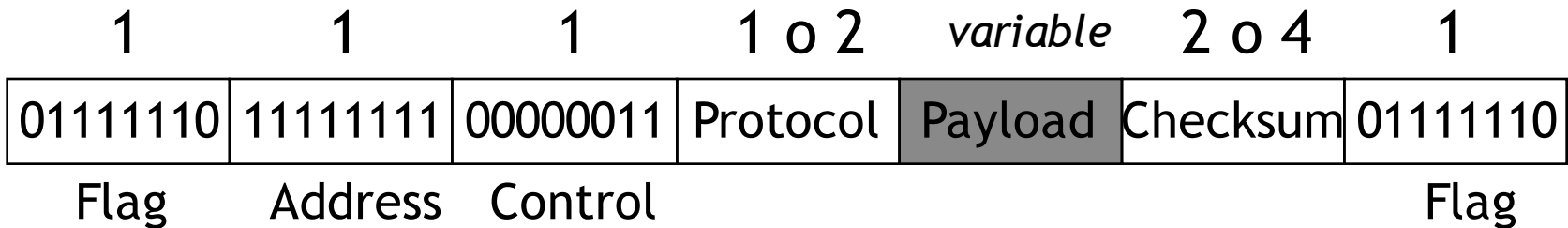


collegamento punto-punto dial-up tra un PC e un router



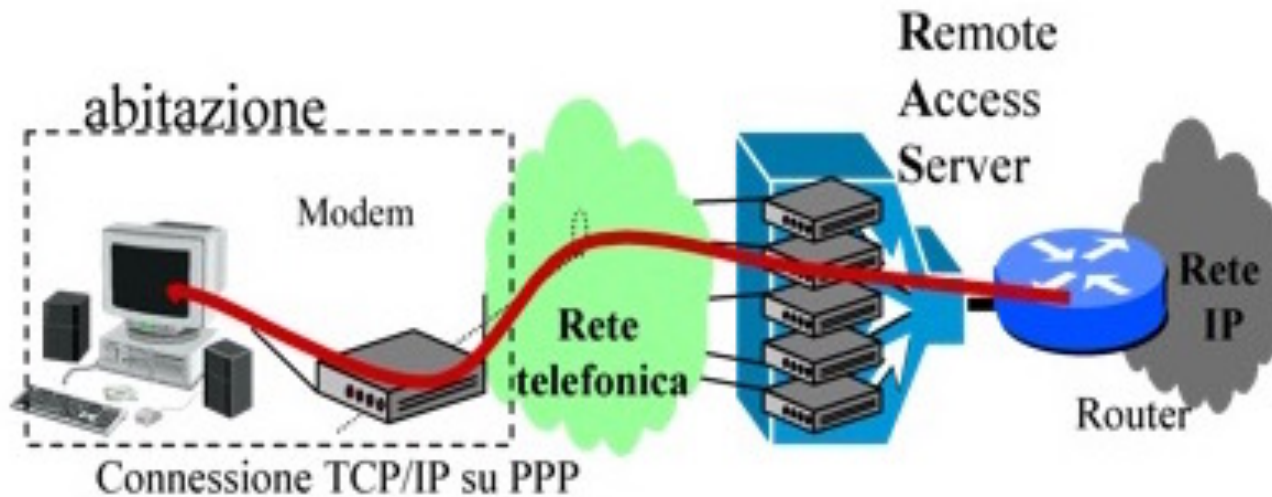


PPP: Formato della trama

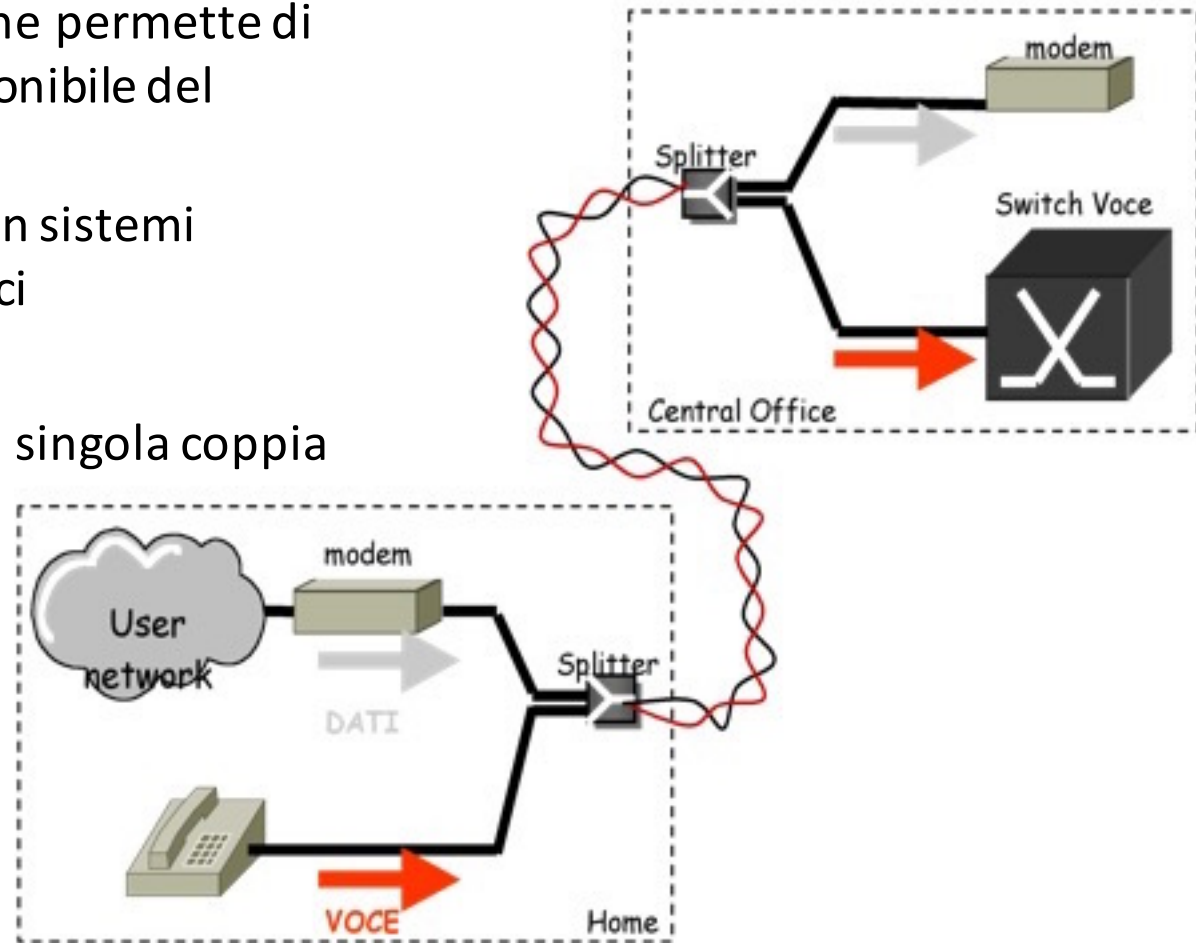


- Flag (1 byte)
 - identifica inizio e fine della trama (“01111110”)
- Address (1 byte)
 - utilizzato in configurazione “tutti gli host”
- Control (1 byte)
 - valore predefinito “00000011” ⇒ *unnumbered*
- Protocol (1 o 2 byte)
 - identifica il tipo di livello di frame (LCP, NCP, IP, IPX, ...)
- Payload (>0 byte)
 - informazione trasmessa
- Checksum (2 o 4 byte)
 - identificazione dell’errore

- Modem (es.: V.90)
 - utilizza la banda telefonica per inviare i segnali
 - ha limite estremo superiore 56 (64) kbit/s



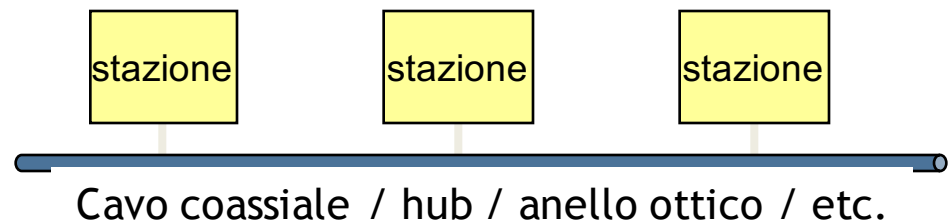
- xDSL (Digital Subscriber Line)
 - famiglia di tecnologie che permette di utilizzare la banda disponibile del doppino telefonico
 - si possono distinguere in sistemi simmetrici e asimmetrici
- es: ADSL
 - Sistema asimmetrico su singola coppia
 - Rate adattativo:
 - 640 – 30000 kb/s downstream
 - Fino a 8000 kb/s upstream
 - Distanze: a seconda del bit-rate



LAN estese

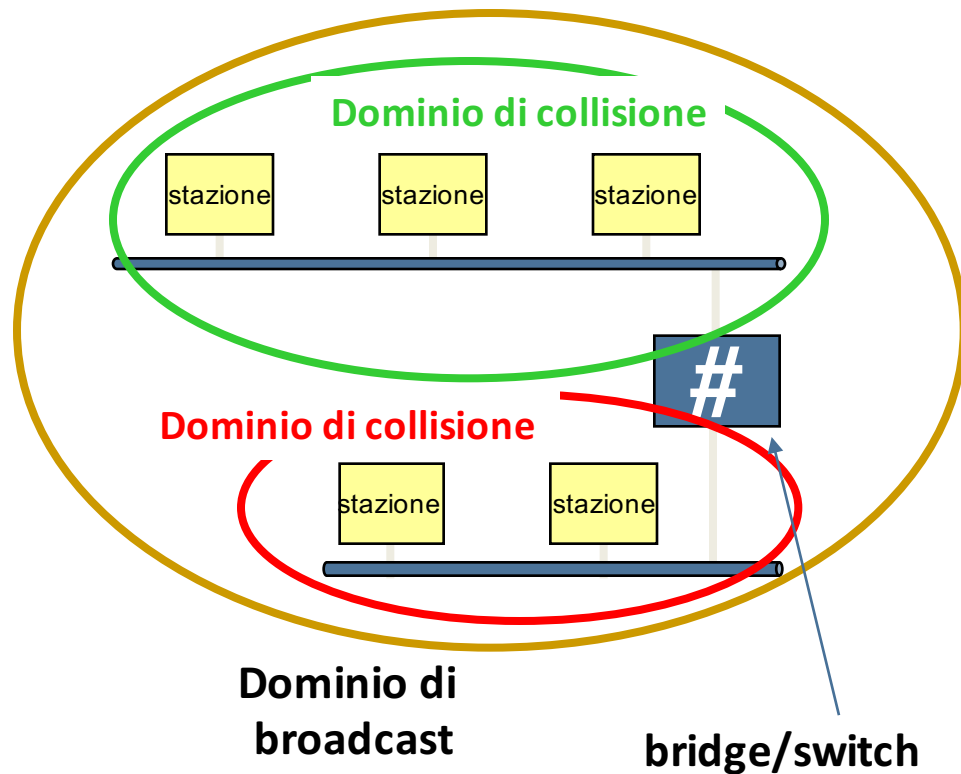
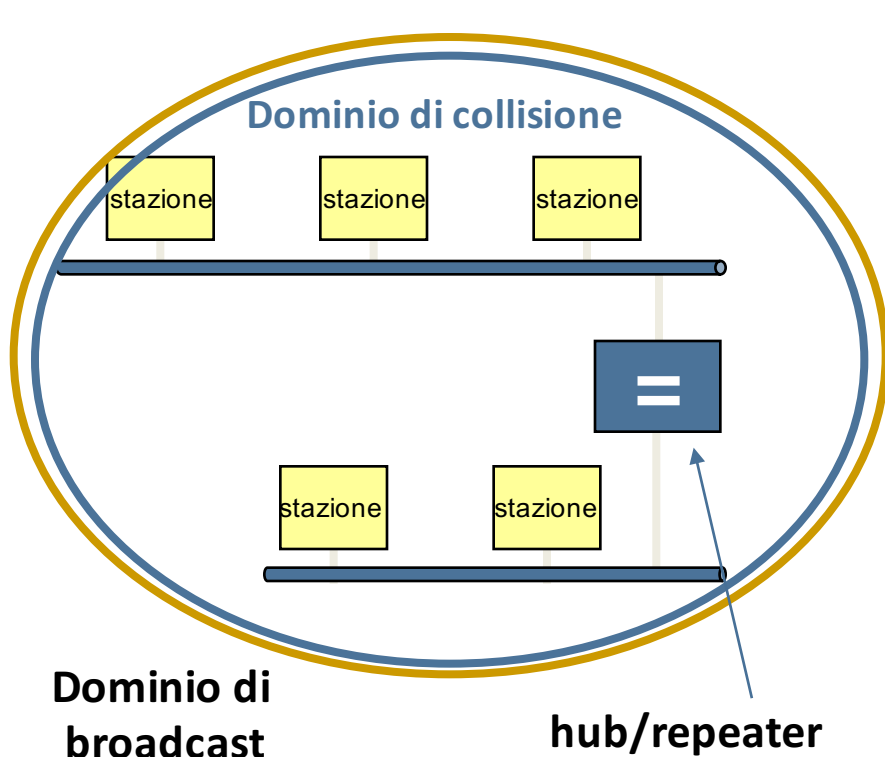


- La scelta di utilizzare mezzi condivisi per l'accesso al canale di trasmissione è stata fatta sia per necessità (ad es. trasmissioni wireless) sia motivi tecnico- (impossibilità di trasmettere a velocità elevate su doppini) –economici (il cavo coassiale costa caro)
- La rappresentazione tipica di una LAN è una serie di stazioni (PC) connesse ad un segmento di cavo coassiale (bus)
- Poiché il segmento non può essere troppo lungo...
 - attenuazione del segnale, dimensione collision domain
 - disposizione spaziale delle stazioni all'interno di un edificio (ad es.: su più piani)
- ... nasce il problema di come estendere le LAN
- Esistono 3 tipi di apparati, in ordine crescente di complessità:
 - Repeater o Hub
 - Bridge
 - Switch

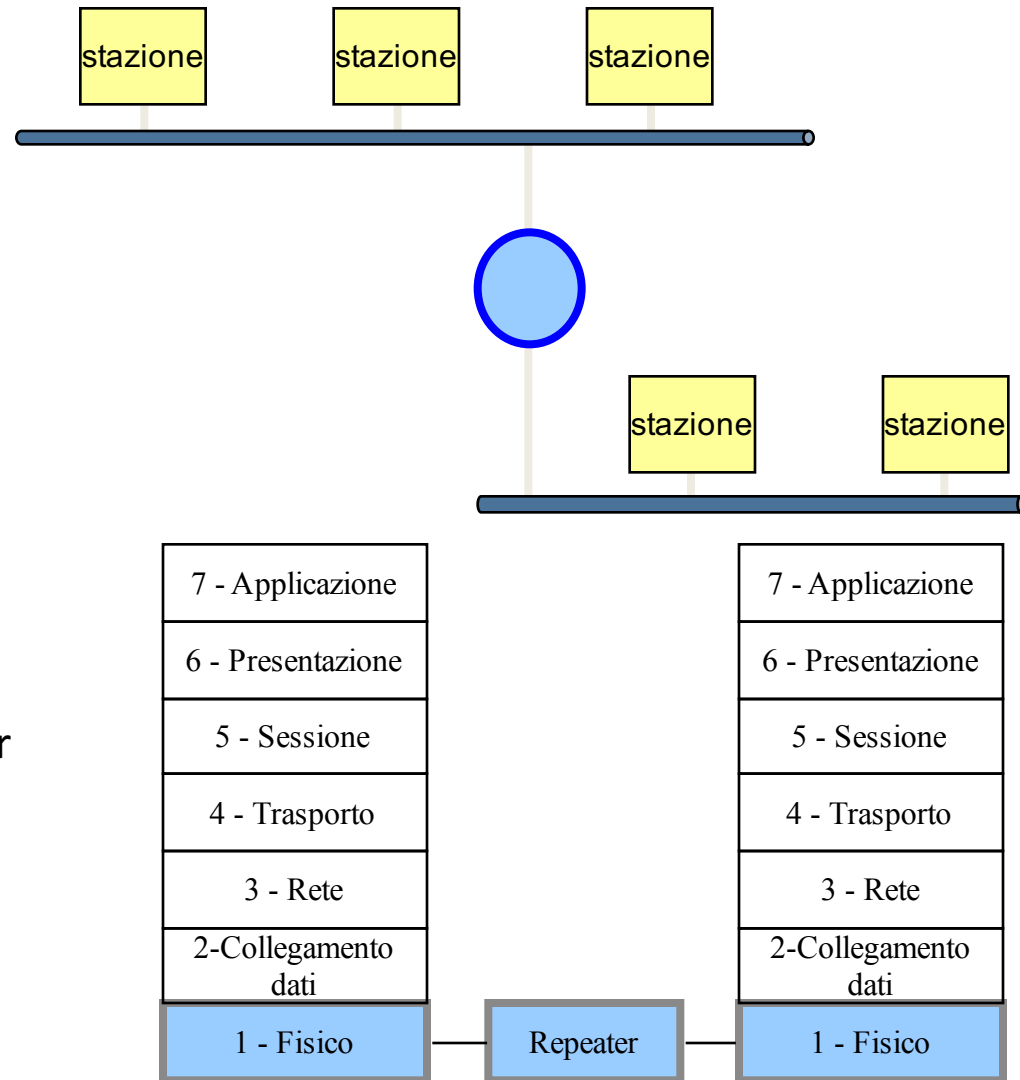




- **Dominio di collisione**
 - parte di rete per cui, se due stazioni trasmettono dati contemporaneamente, il segnale ricevuto dalle stazioni risulta danneggiato (collisione)
- **Dominio di broadcast**
 - parte di rete raggiunta da una trama con indirizzo broadcast (a livello 2)
- Stazioni appartenenti alla medesima rete di livello 2 condividono lo stesso dominio di broadcast
 - gli apparati che estendono le LAN possono (e devono) solo influire sul dominio di collisione
- Diversi domini di broadcast devono essere separati da un router

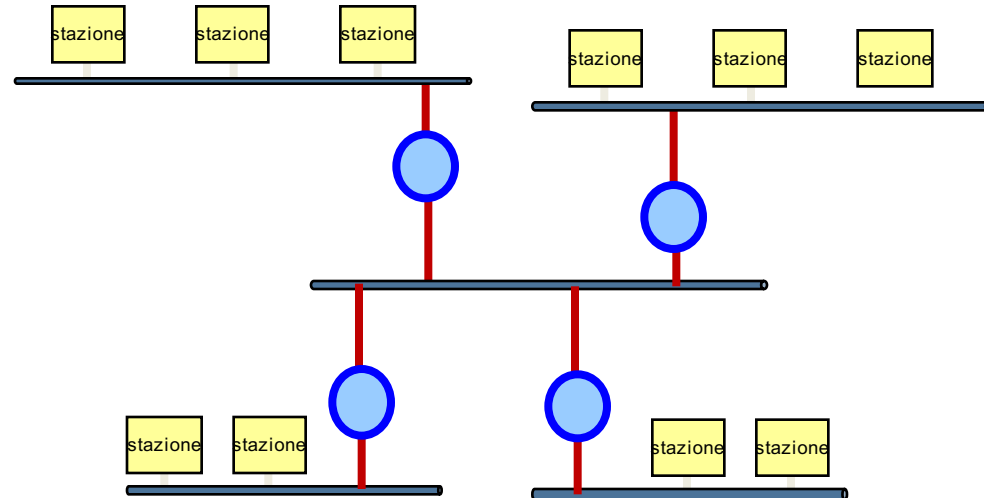
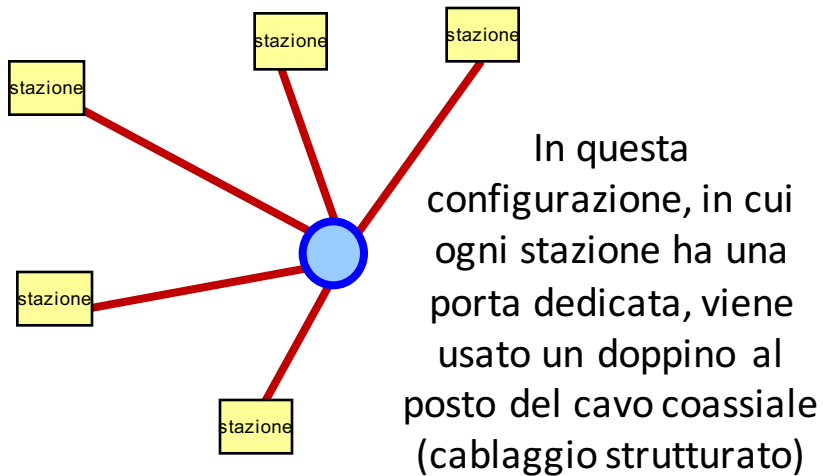
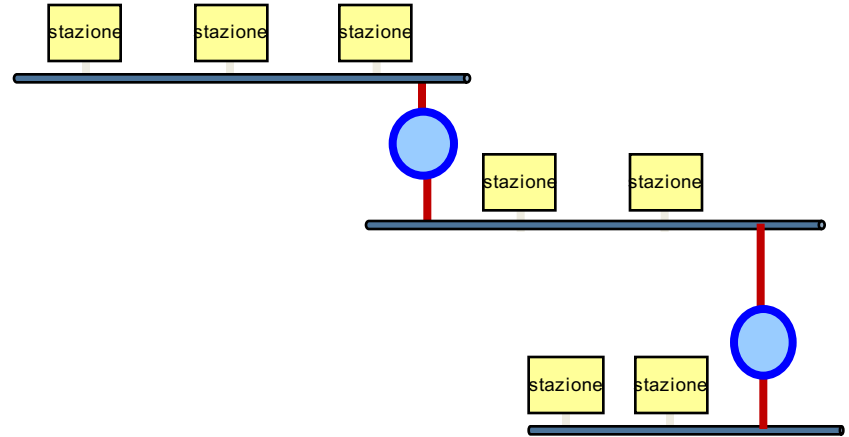
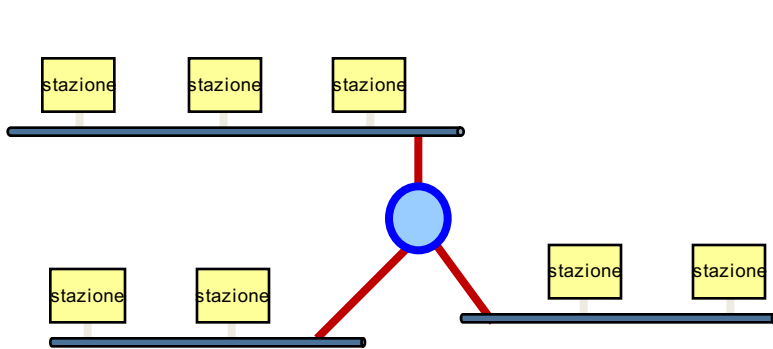


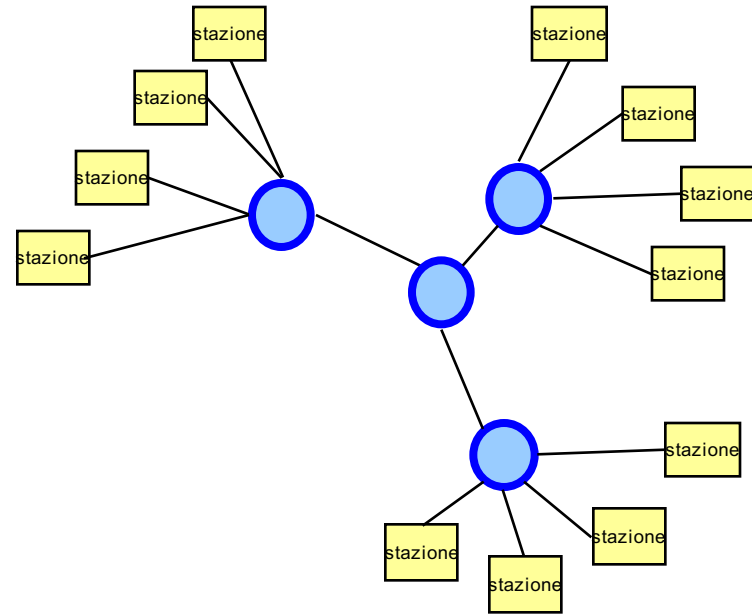
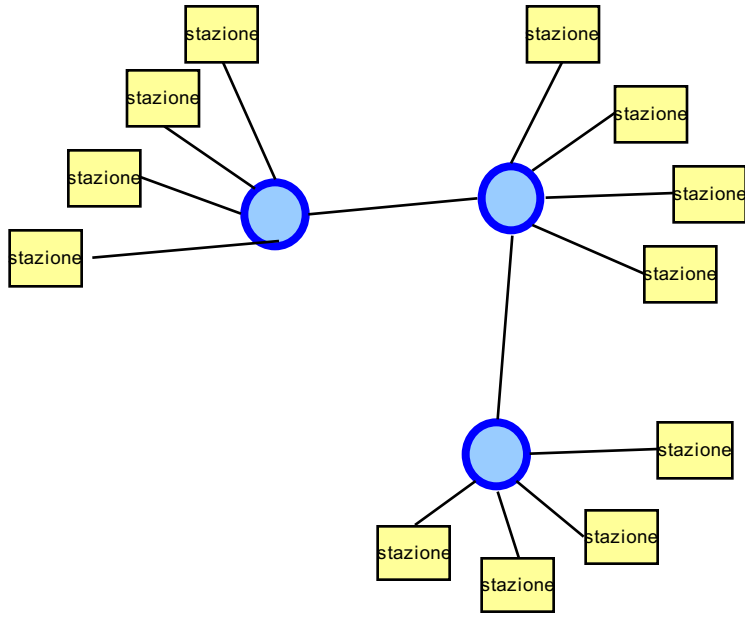
- Interviene solo a livello fisico ISO/OSI
- Replica le trame in arrivo da un segmento ad un altro, amplificando il segnale
- I repeater possono connettere più di due segmenti
 - in questo caso si parla di **Hub**
 - copia le trame che riceve su una porta su tutte le altre porte
 - il segnale trasmesso da una stazione viene propagato a tutte le uscite
- Non ci possono essere più di 4 repeater in cascata tra due stazioni
- Il dominio di collisione coincide con il dominio di broadcast



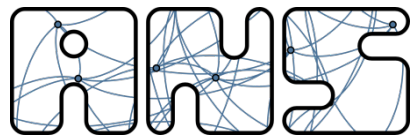


Alcune possibili combinazioni



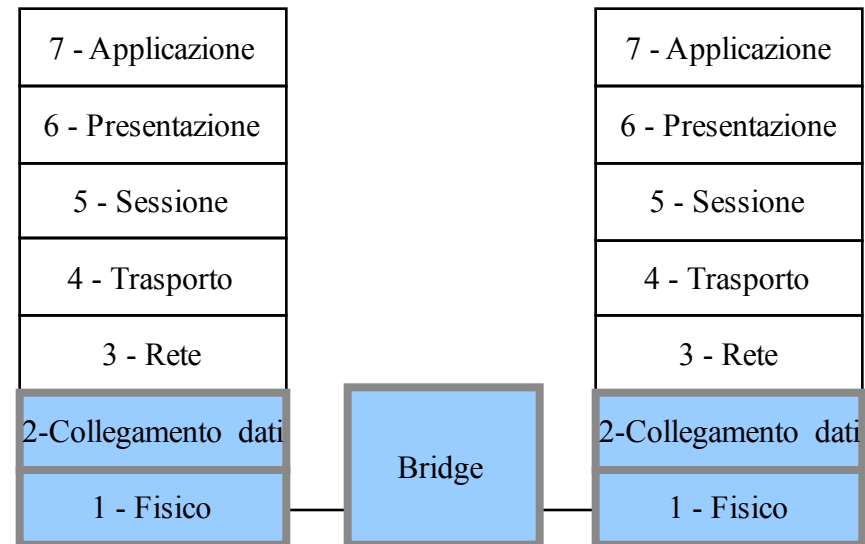


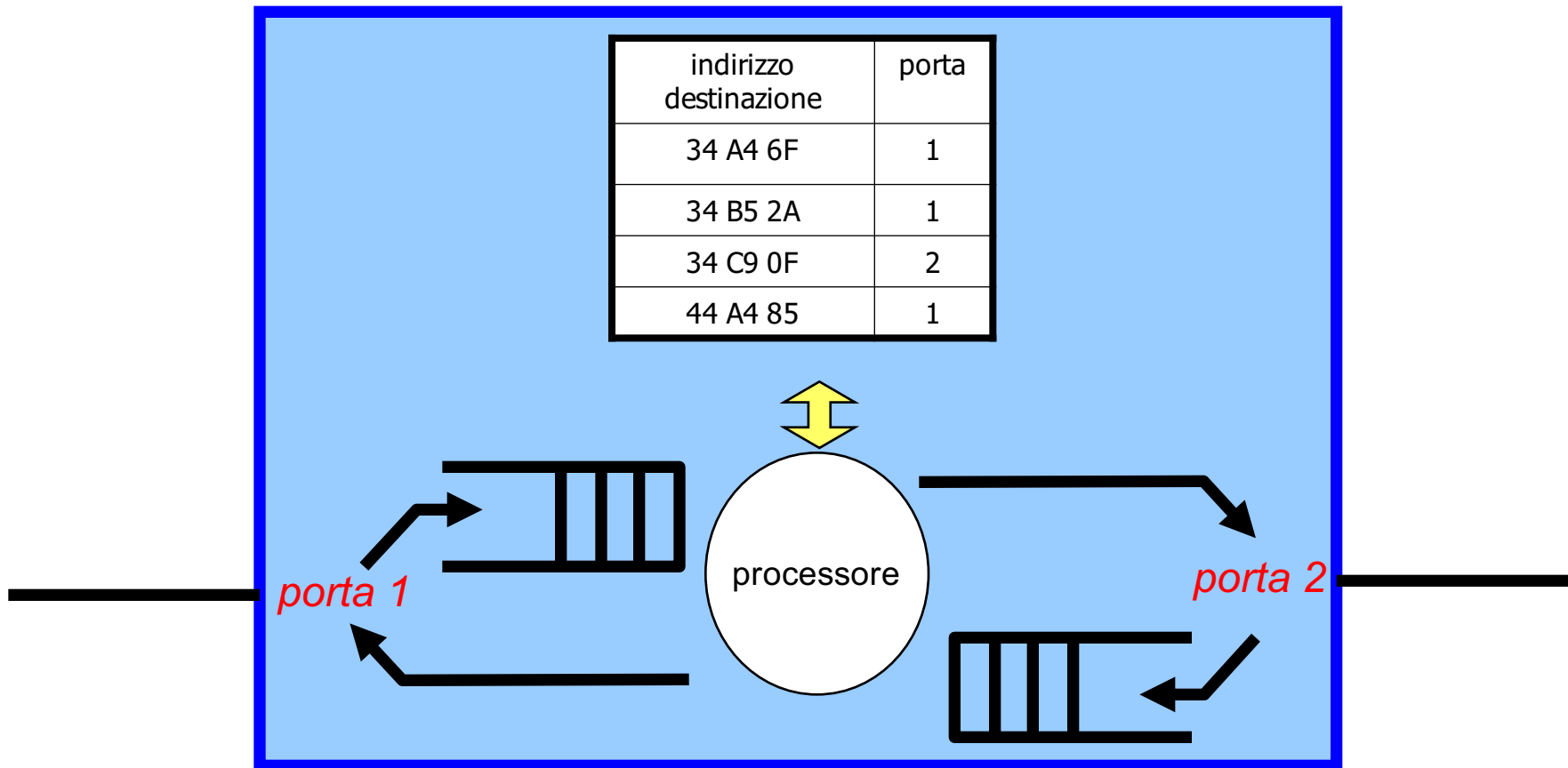
- Il problema legato a questo tipo di configurazioni è l'eccessiva estensione del dominio di collisione
 - con i repeater/hub è come se tutte le stazioni condividessero lo stesso mezzo fisico



Bridge

- Collega 2 segmenti di rete
- Apparato store and forward
 - seleziona se ripetere una trama generata da un segmento di rete sull'altro segmento
 - la selezione avviene in base ad una tabella che esso mantiene
 - in tale tabella c'è scritto quali stazioni fanno parte di ciascun segmento di rete
 - il bridge legge l'indirizzo di destinazione e in base alla propria tabella decide se propagare la trama nell'altro segmento di rete
- Spezza il dominio di collisione

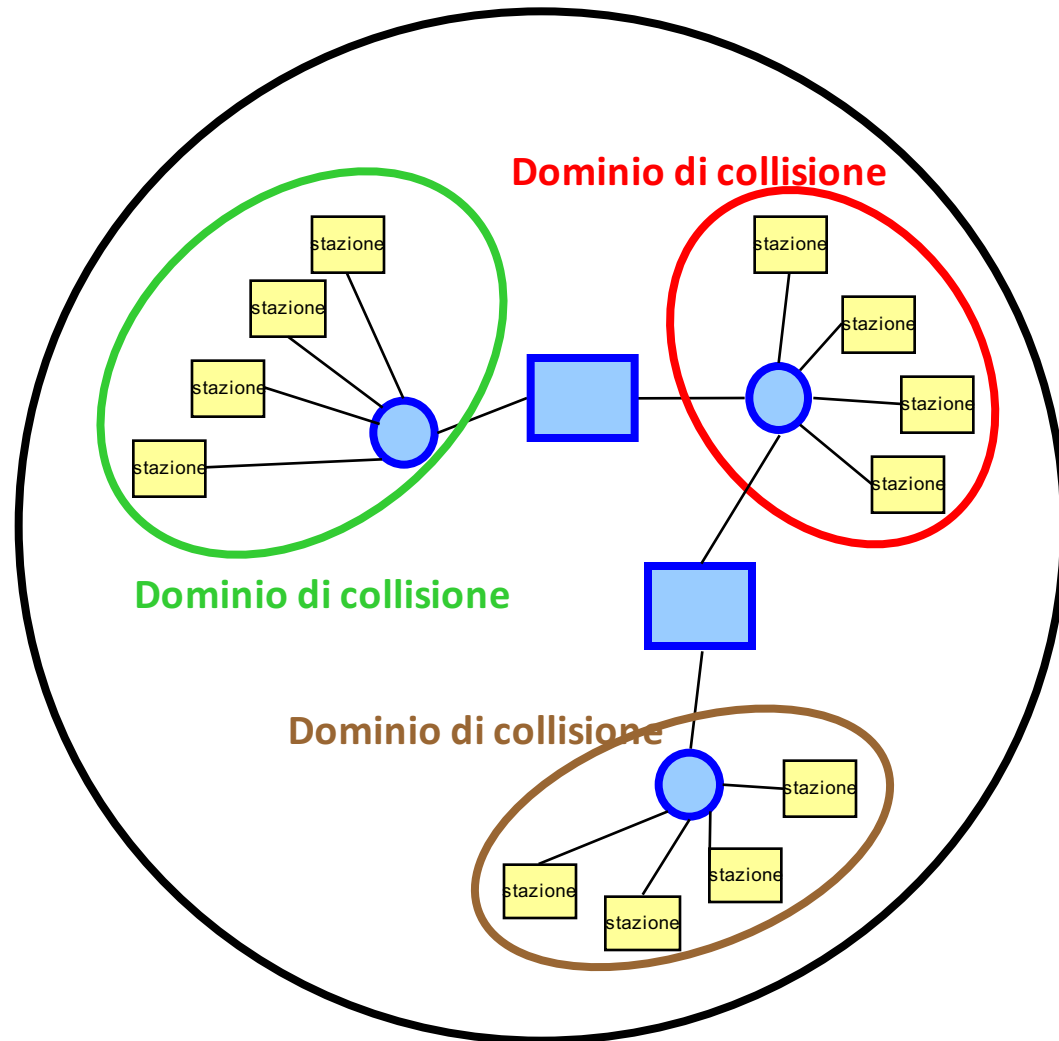




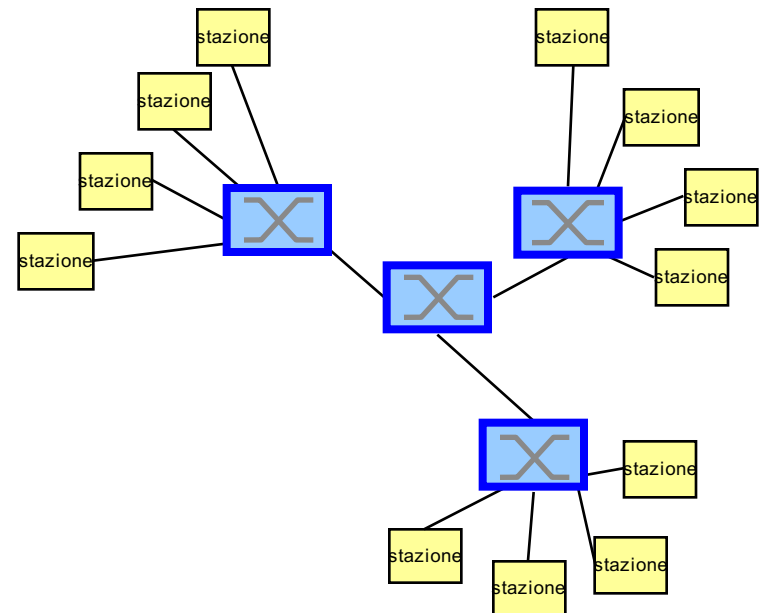
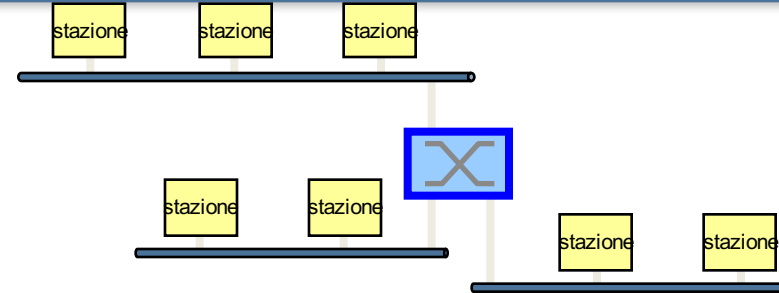


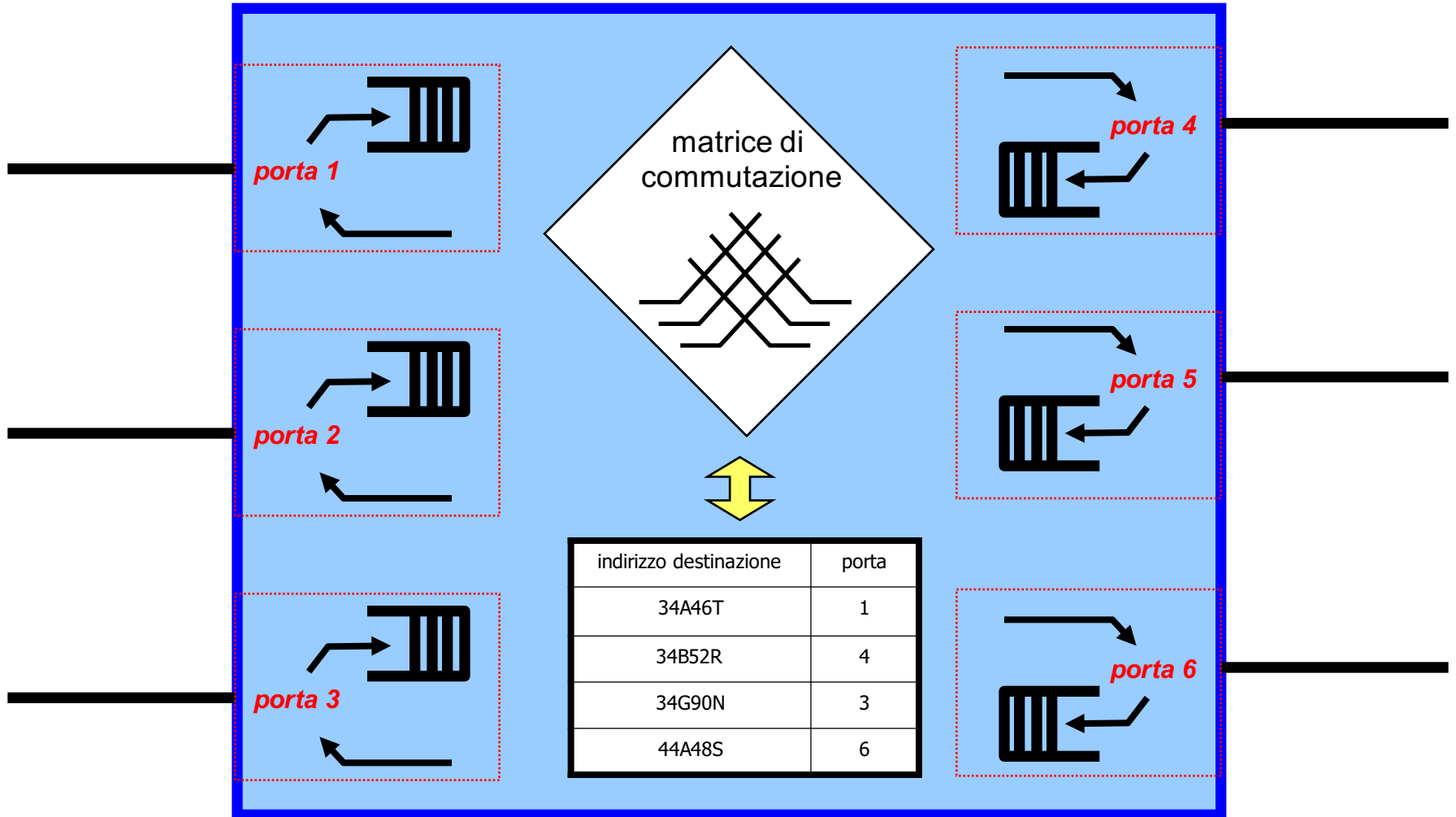
Dominio di broadcast

- Spezza il dominio di collisione, ovvero ciascun segmento di rete è conteso solo da chi è attestato sull'hub
- Gli hub vedono il bridge come una stazione qualsiasi che genera trame
- La trama è propagata dal bridge solo se il destinatario è attestato su un hub diverso da quello di origine
- Il concetto di *dominio di broadcast* viene preservato: ogni frame indirizzata ad un indirizzo broadcast di livello 2 viene ricevuta da tutti i nodi, anche se separati da diversi bridge



- Il bridge ha solo 2 porte
- Lo switch è un bridge multiporta
 - mantiene una tabella in cui sono associati indirizzi di livello 2 e segmenti di rete di appartenenza
- Spesso ogni porta è connessa ad un'unica stazione (invece che ad un segmento di rete)
 - realizza un accesso dedicato per ogni nodo
 - elimina le collisioni e dunque aumenta la capacità
 - supporta conversazioni multiple contemporanee

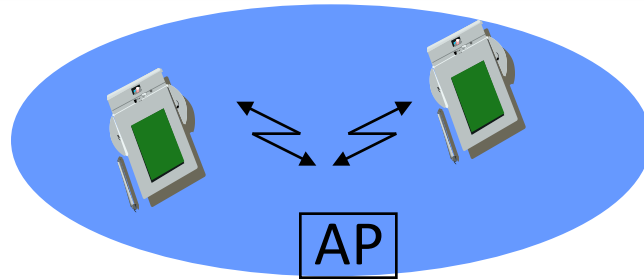




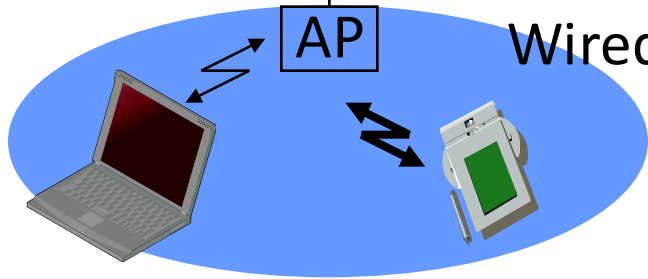


WiFi – 802.11

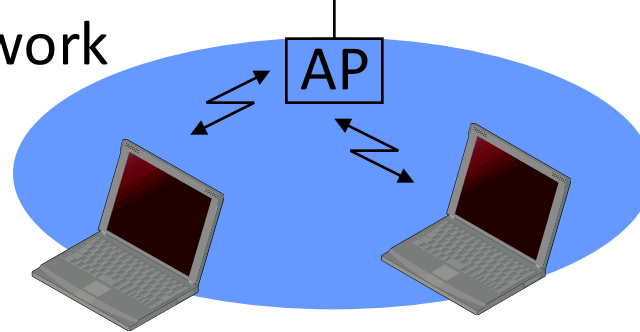
Infrastructured Network



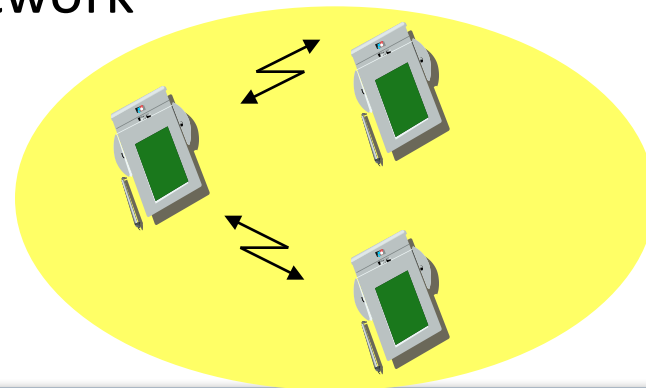
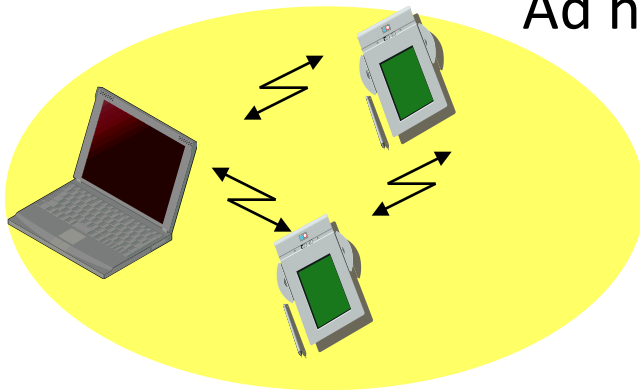
AP: Access Point

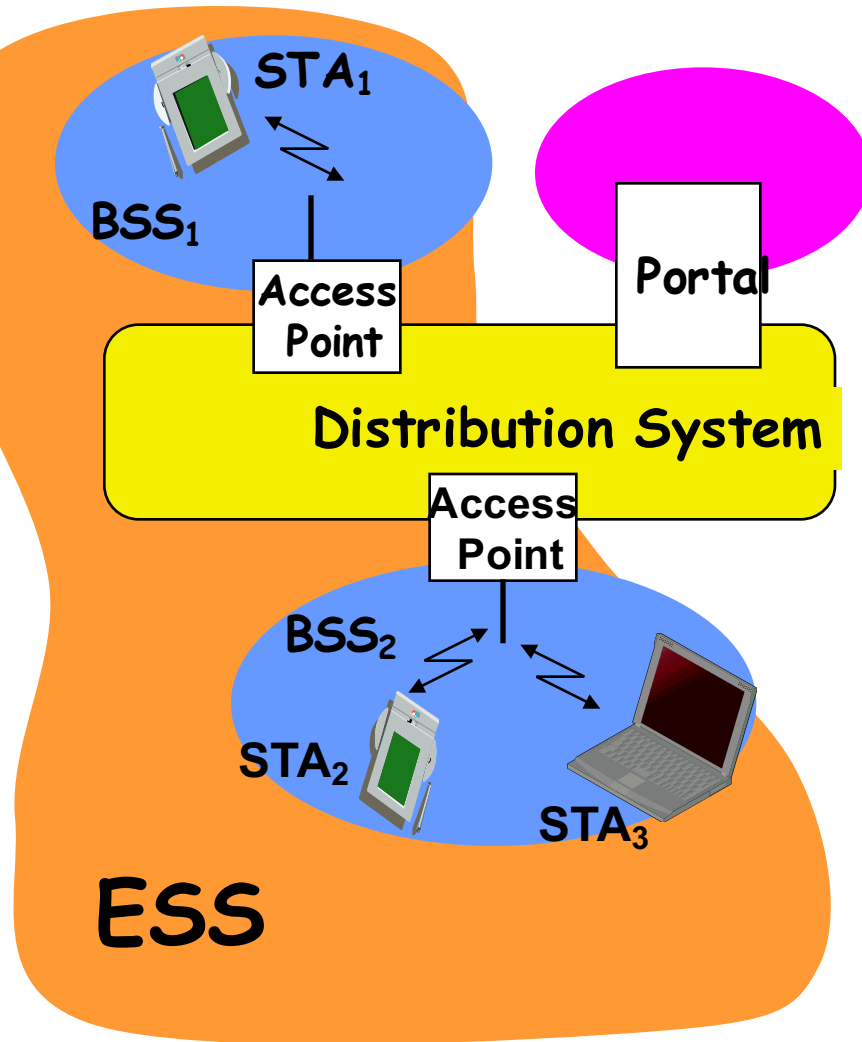


Wired Network



Ad hoc Network





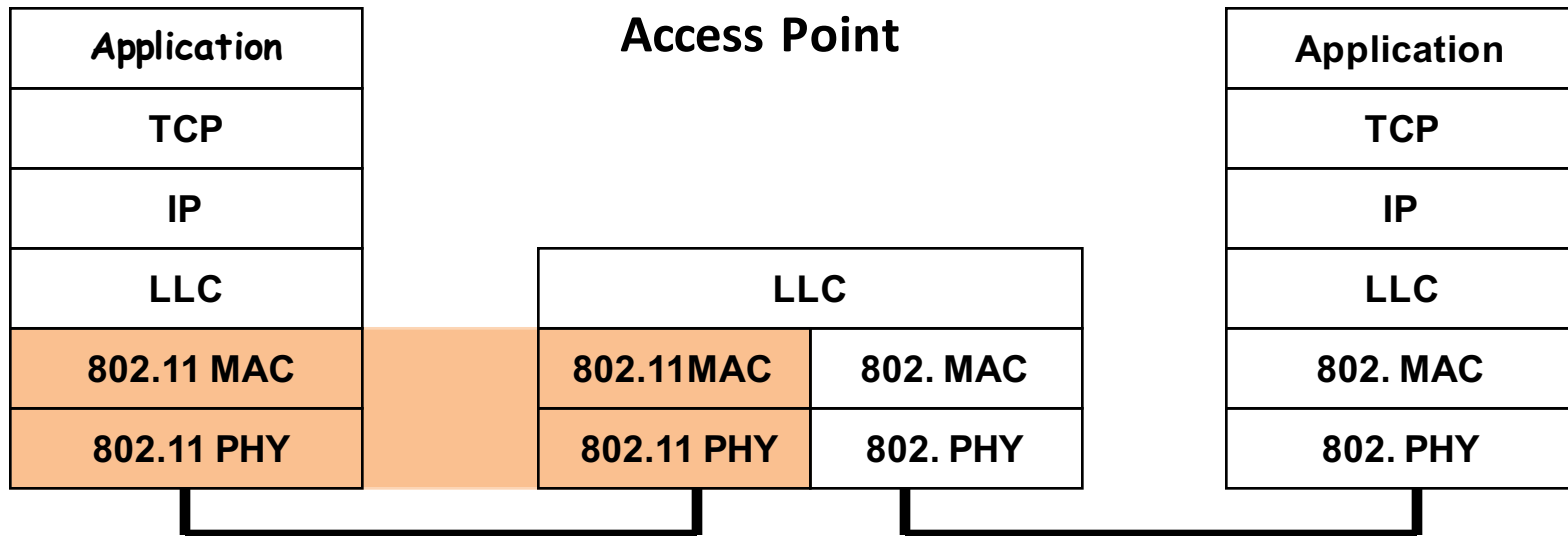
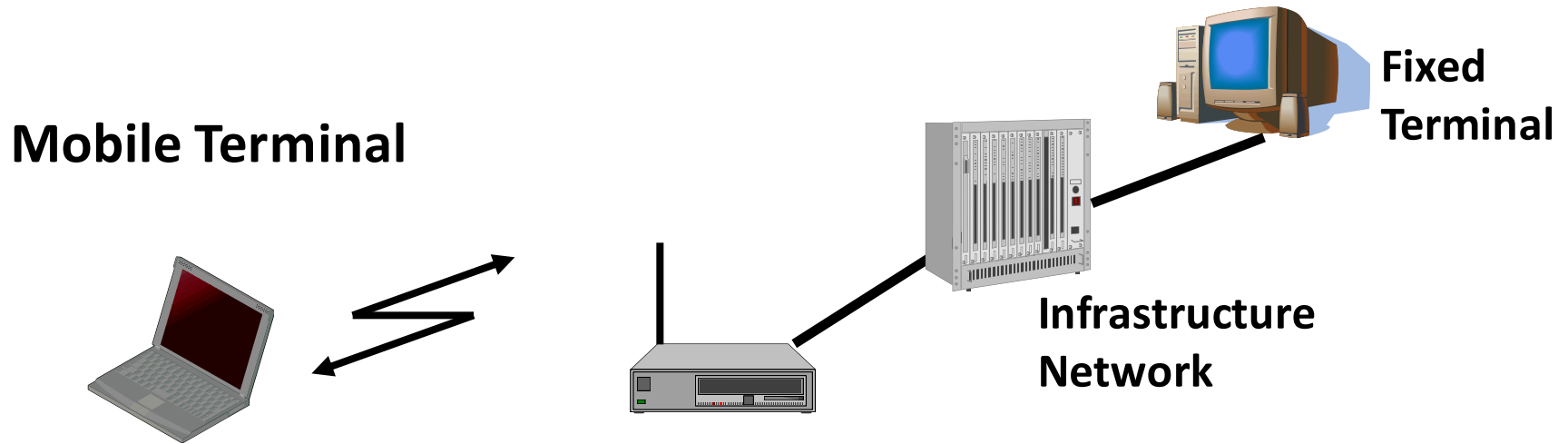
- Station (STA)
 - Terminal
- Basic Service Set (BSS)
 - Group of stations using the same radio frequency
- Access Point
 - Station integrated into the wireless LAN and the distribution system
- Portal
 - Bridge to other networks
- Distribution System
 - Interconnection network to form one logical network (ESS: Extended Service Set) based on several BSS



- Basic Service Set (BSS) consists of some number of stations with the same MAC protocol and competing for access to the same shared medium.
- A BSS may be isolated or it may connect to a backbone distribution system through an access point
- AP functions as a bridge.
- The MAC protocol may be fully distributed or controlled by a central coordination function housed in the AP.



- Basic Service Set (BSS) $\leftarrow \rightarrow$ CELL
- Extended Service Set (ESS) consists of two or more BSSs interconnected by a distribution system
- Distribution System \rightarrow a wired backbone LAN
- ESS appears as a single logical LAN to the logical link control (LLC) level





- Radio waves propagates on a spherical surface
- The signal is thus attenuated quadratically:
$$P_{rx} = k P_{tx} / d^2$$

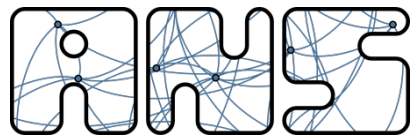
d is the distance and k a generic constant accounting for any other attenuation factor and normalization, normally it is smaller than 1
- A transmitting antenna cannot receive at the same time
- Suppose we have 2 antennas on the AP (or laptop) 10cm apart, one transmitting and one receiving
- Another station is transmitting 10m away
- ... compute the ratio between the received powers



- Based on the Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) scheme:
 - stations that have data to transmit contend to access the channel
 - a station has to repeat the contention procedure every time it has data to transmit
 - in 802.11n/ac the channel is allocated for a time interval called TXOP where multiple frames can be send



- Interframe space (IFS)
 - time interval between frame transmissions
 - used to establish priority in accessing the channel
- 4 types of IFS:
 - Short IFS (SIFS)
 - Point coordination IFS (PIFS) > SIFS
 - Distributed IFS (DIFS) > PIFS
 - Extended IFS (EIFS) > DIFS
- Duration depends on physical level implementation



802.11 CSMA sender:

- if sense channel idle for **DIFS** sec.

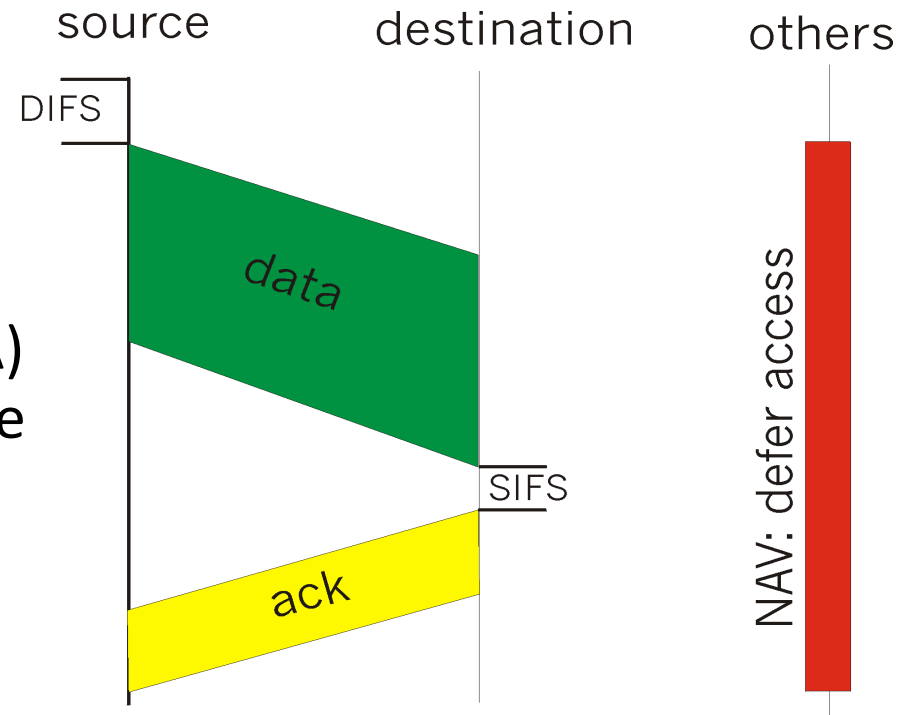
then transmit frame

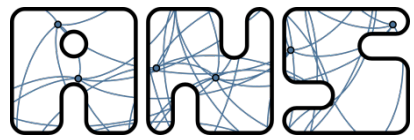
- if sense channel busy
then random access over a
contention window CW_{min} (CA)
when the channel becomes free

802.11 CSMA receiver:

if received OK

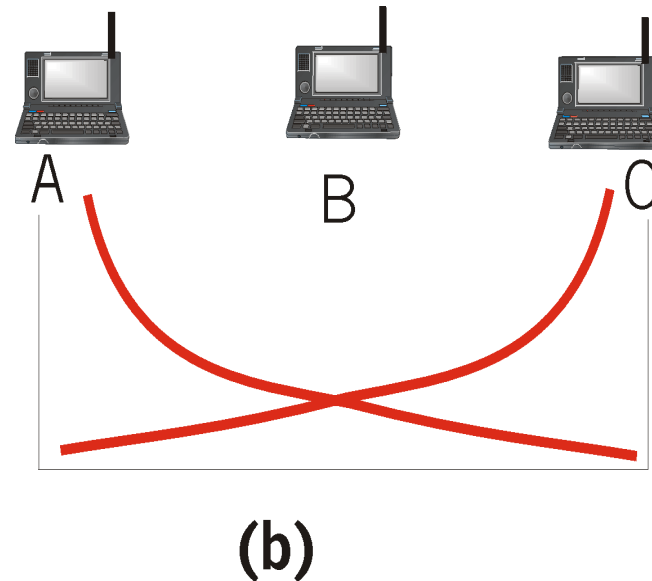
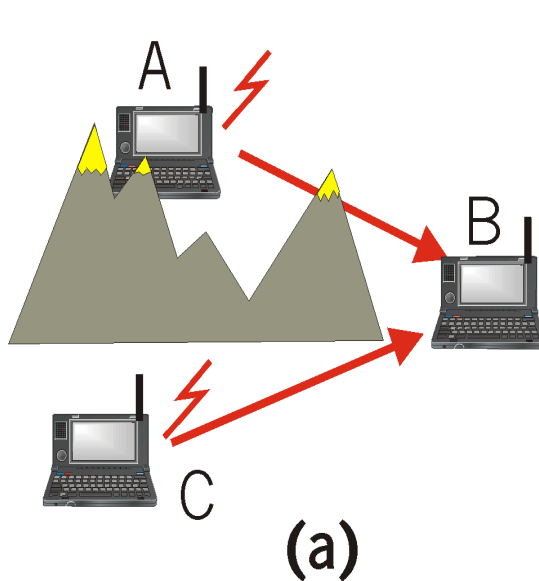
return ACK after **SIFS**

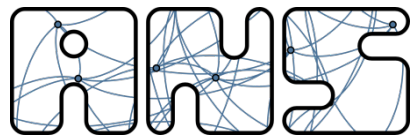




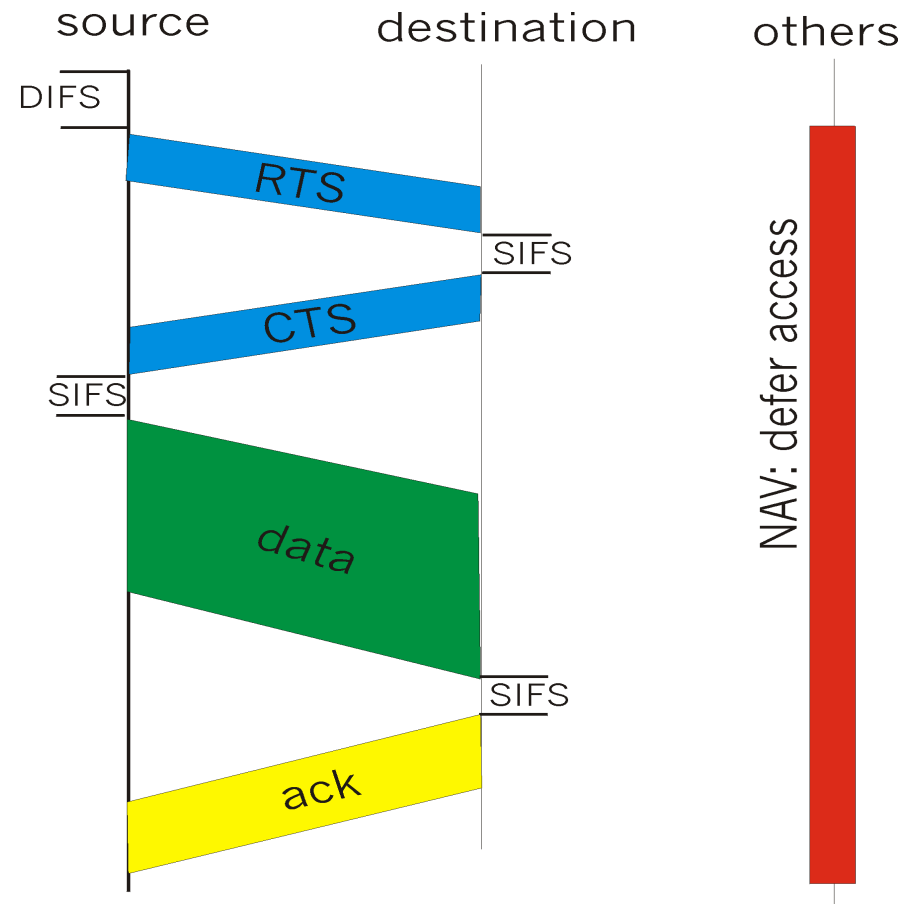
Hidden Terminal Effect

- **hidden terminals: A, C cannot hear each other**
 - obstacles, signal attenuation → (deterministic) collisions at B
- **goal:** avoid collisions at B
- **CSMA/CA with handshaking**

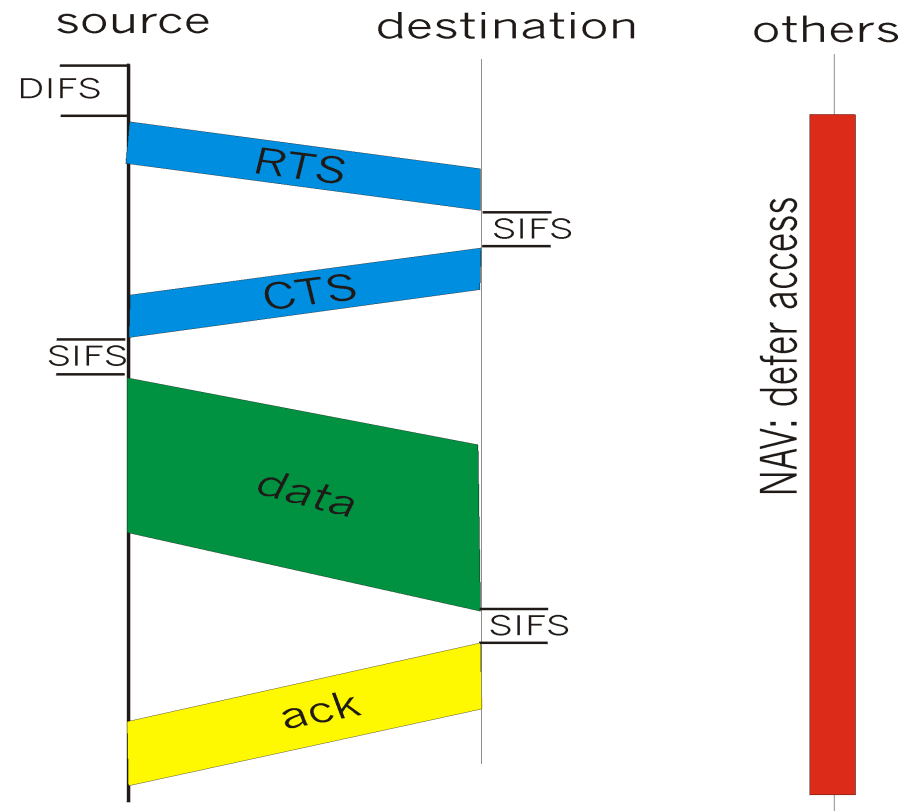




- CSMA/CA: explicit channel reservation
 - sender: send short RTS (request to send)
 - receiver: reply with short CTS (clear to send)
- CTS reserves channel for sender, notifying (possibly hidden) stations
- reduces hidden station collisions
- increase overhead



- RTS and CTS are short:
 - collisions of shorter duration, hence less “costly”
- DCF allows:
 - CSMA/CA
 - CSMA/CA with handshaking



- Sensing range is normally larger than receiving range
- Terminals may be “exposed” in that they sense the channel occupied, but cannot compete for it

