



# 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>

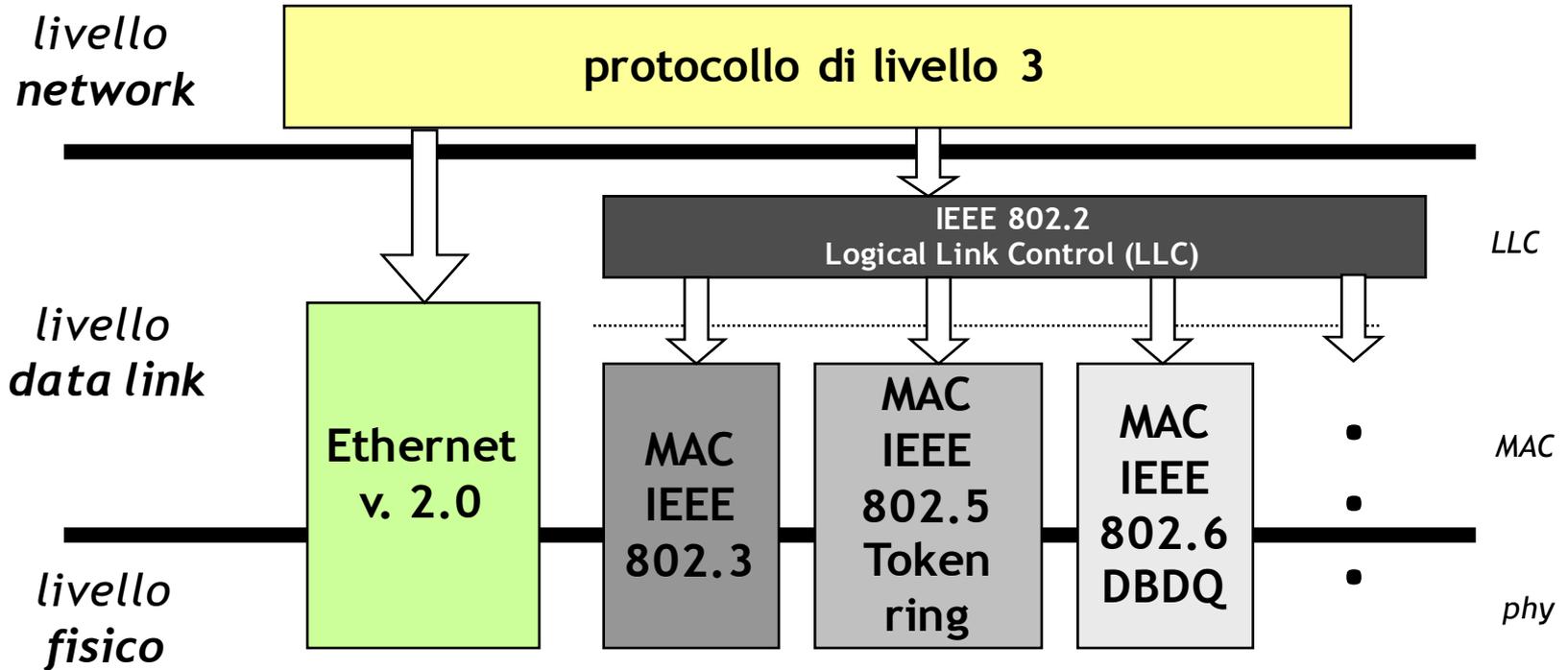
- *Credits*
  - *Part of the material is based on slides provided by the following authors*
    - *Jim Kurose, Keith Ross, “Computer Networking: A Top Down Approach,” 4th edition, Addison-Wesley, July 2007*
    - *Douglas Comer, “Computer Networks and Internets,” 5th edition, Prentice Hall*
    - *Behrouz 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)



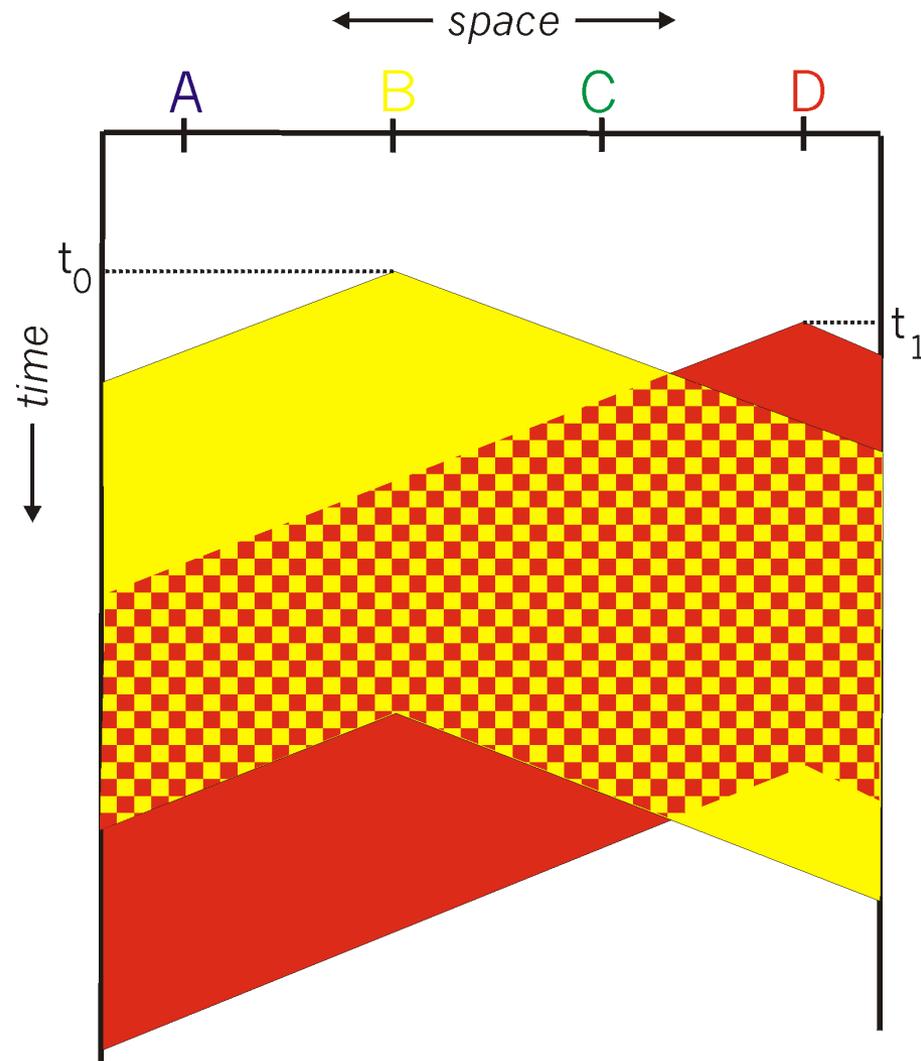
- Work is still going on in many technical committees and new committees are founded every year (or close to):
  - ✓ 802.7: Broadband Technical Advisory Group
  - ✓ 802.8: Fiber-Optic Technical Advisory Group
  - ✓ 802.9: Integrated Data and Voice Networks
  - ✓ 802.10: Network Security
  - ✓ **802.11: 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

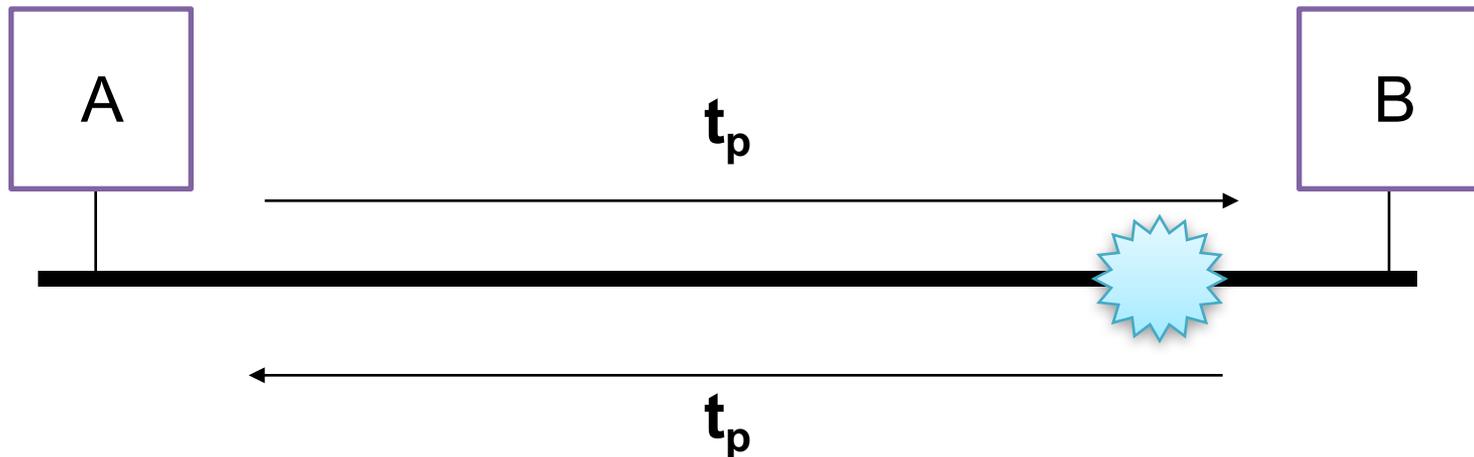


- Si verificano
  - a causa dei ritardi di propagazione e sono inevitabili
  - soprattutto a causa della scelta 1-persistente
- Collisione: spreco completamente tempo di trasmissione pacchetti
- la distanza (ritardo di propagazione) gioca ruolo fondamentale nella probabilità di collisioni
- con pacchetti 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  $T_{tx}$

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

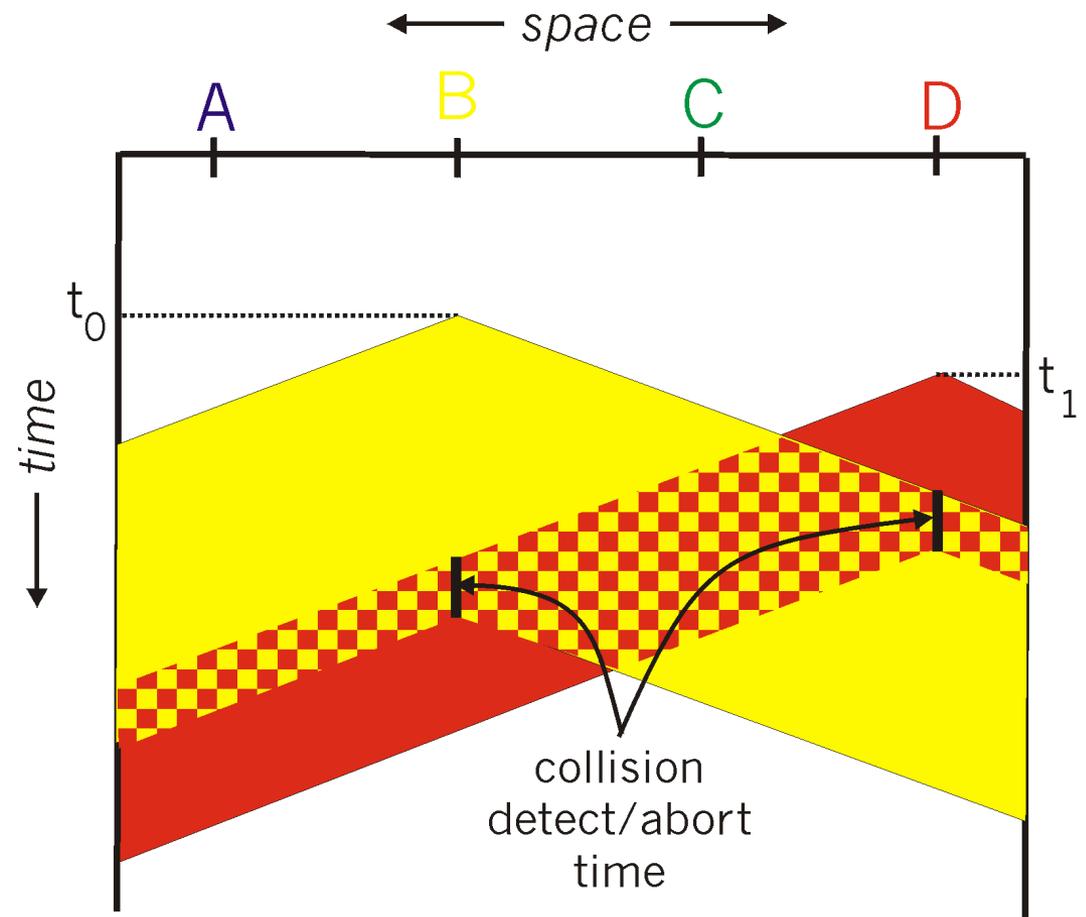


- Vantaggi di CSMA/CD su CSMA:
  - se mi accorgo (in fretta) delle collisioni sospendo la trasmissione del pacchetto
  - riduco lo spreco dovuto ad una trasmissione inutile
- Collision detection:
  - facile nelle LAN cablate: misuro potenza segnale, confronto segnale ricevuto e trasmesso
  - difficile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



# CSMA/CD collision detection

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



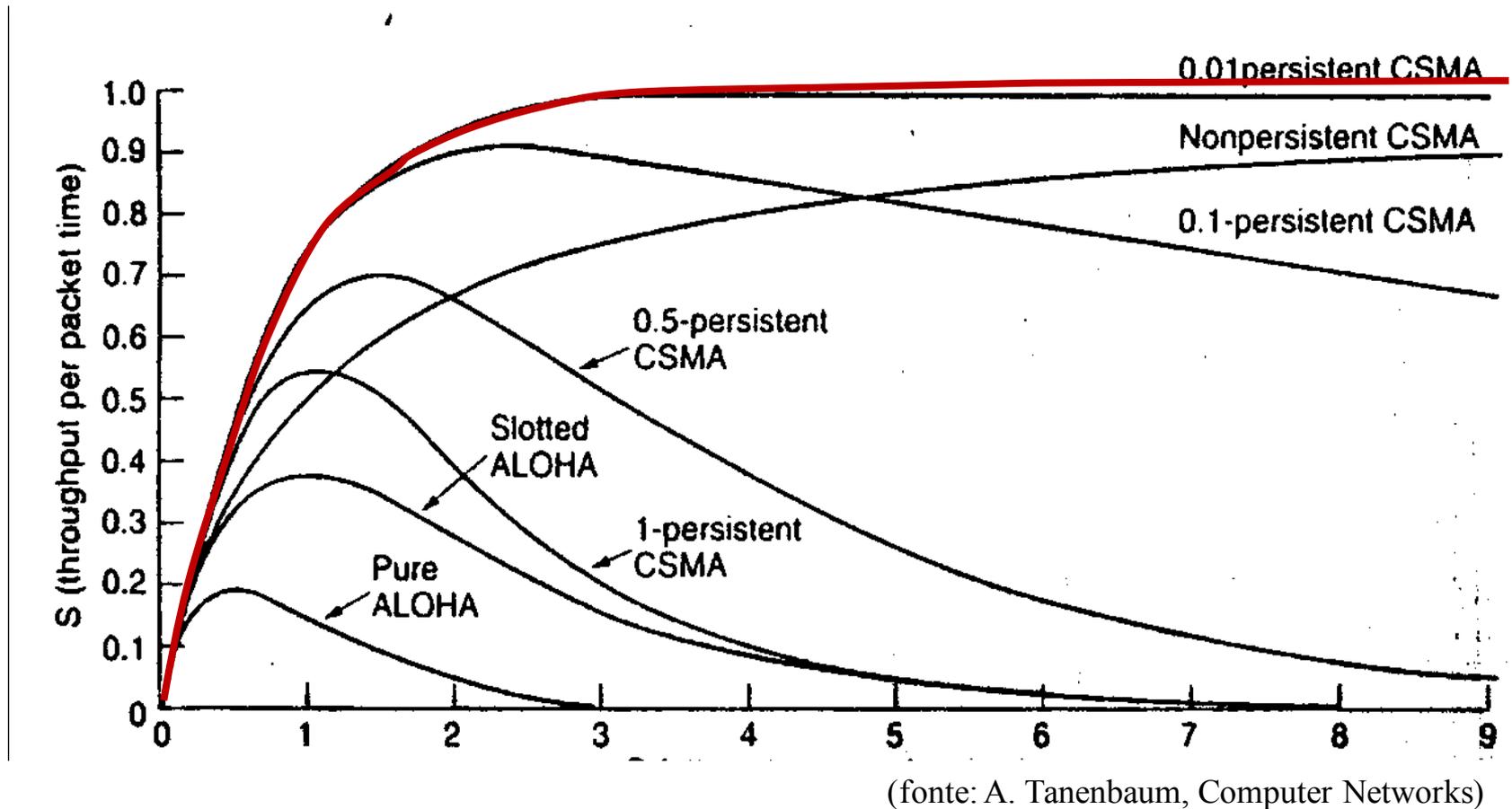


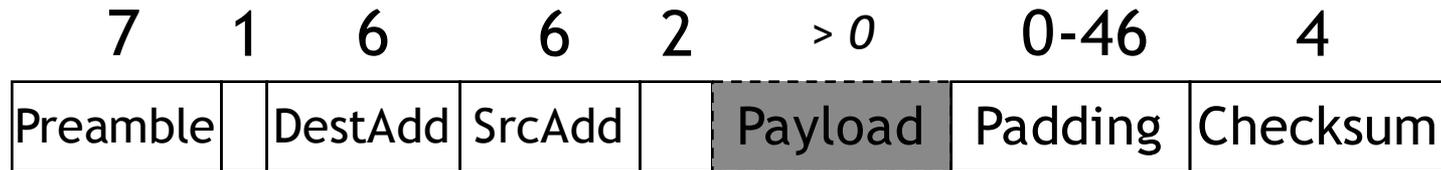
Si hanno prestazioni migliori

- 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 \_\_\_\_\_

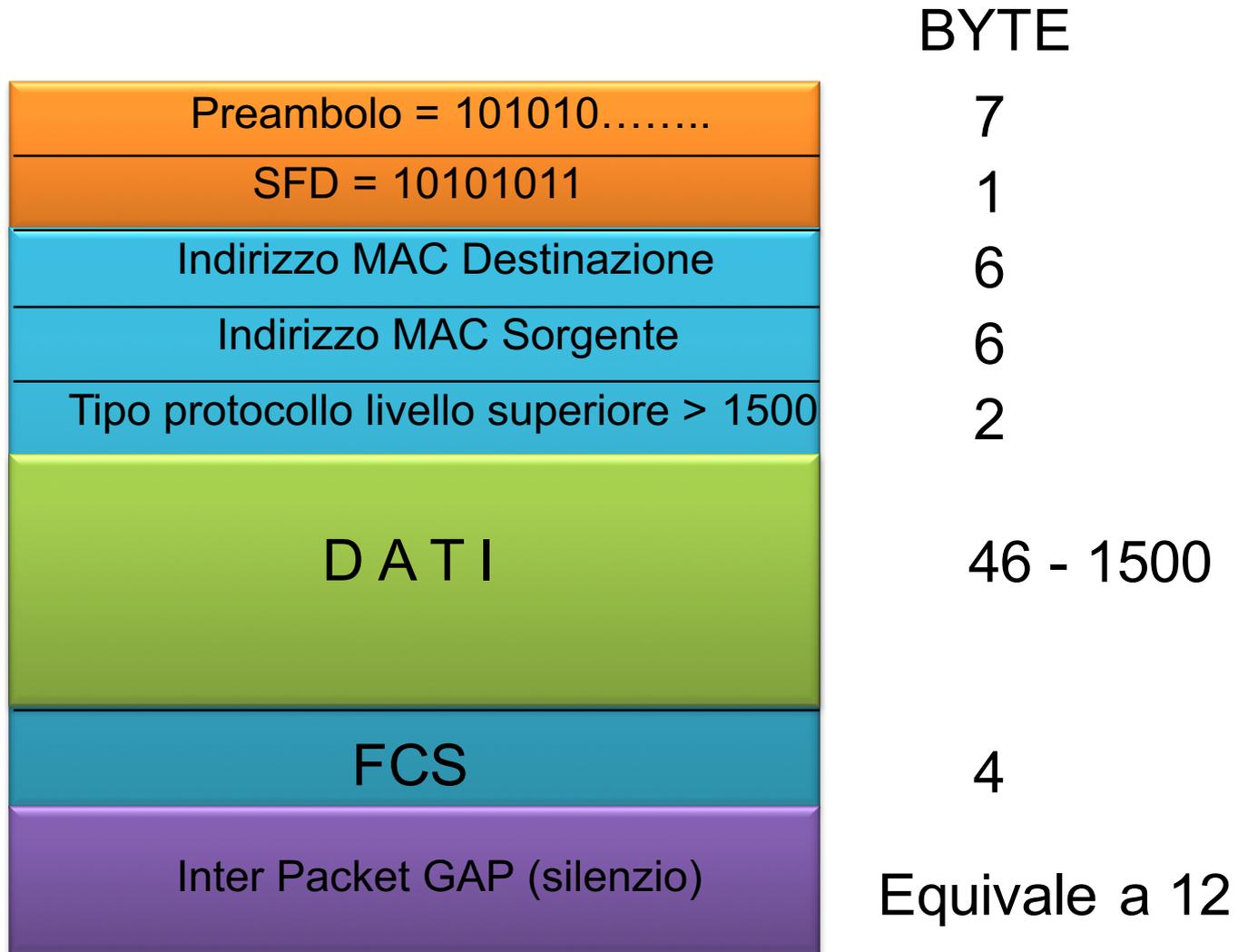
frame delimiter

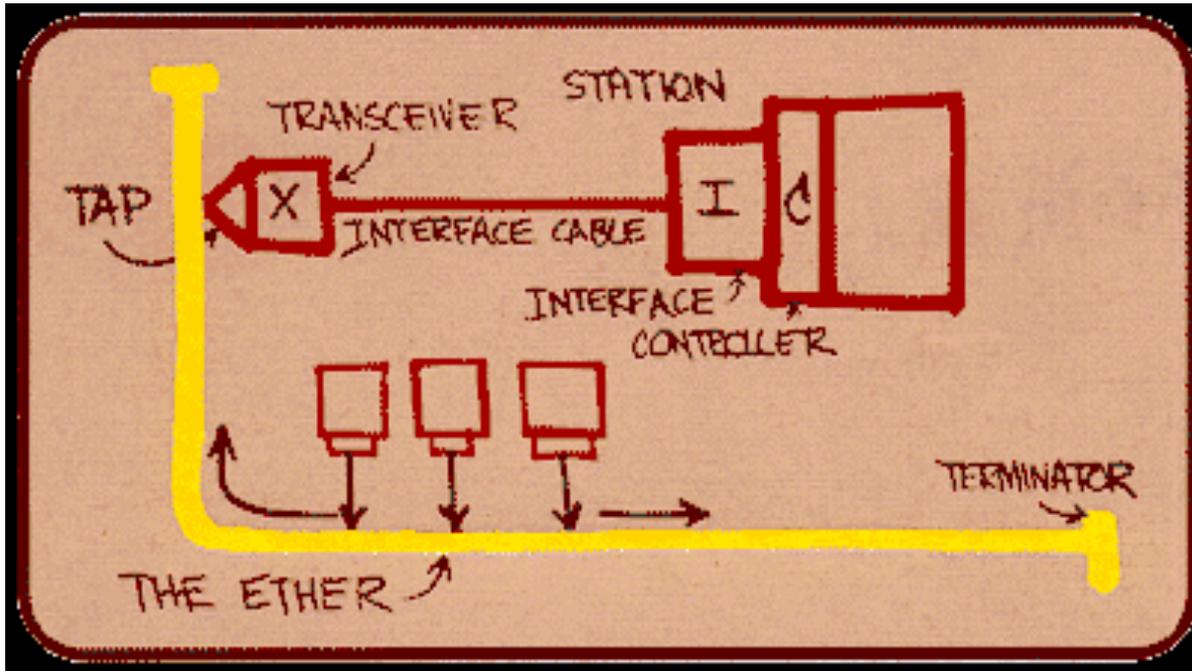
Length of payload

- 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

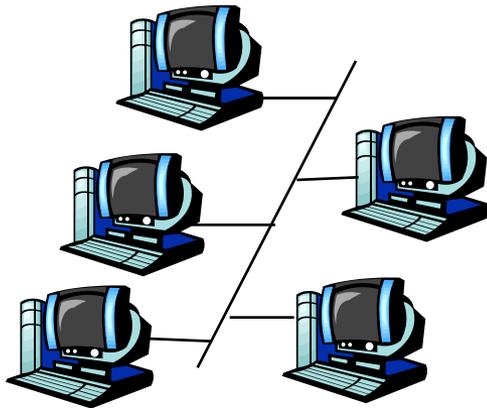




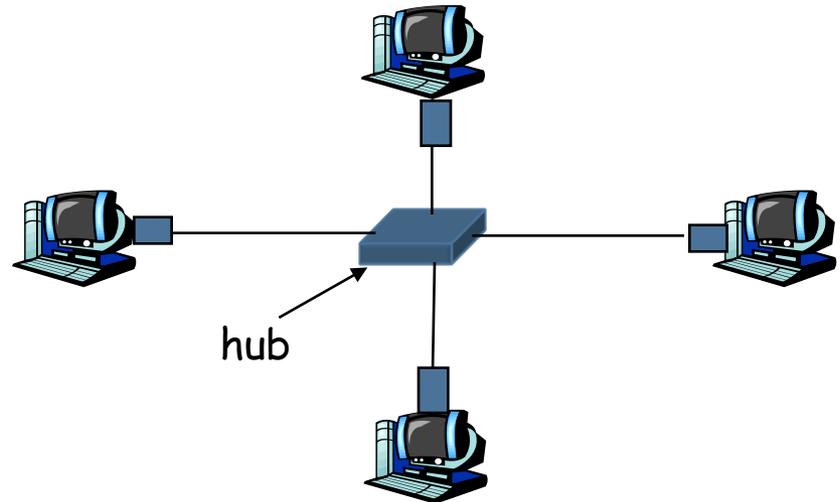
- Cavo coassiale
- Topologia a bus
- Su transceiver cable ho segnali tx, rx e collisione rivelata (e alimentazione)

- 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

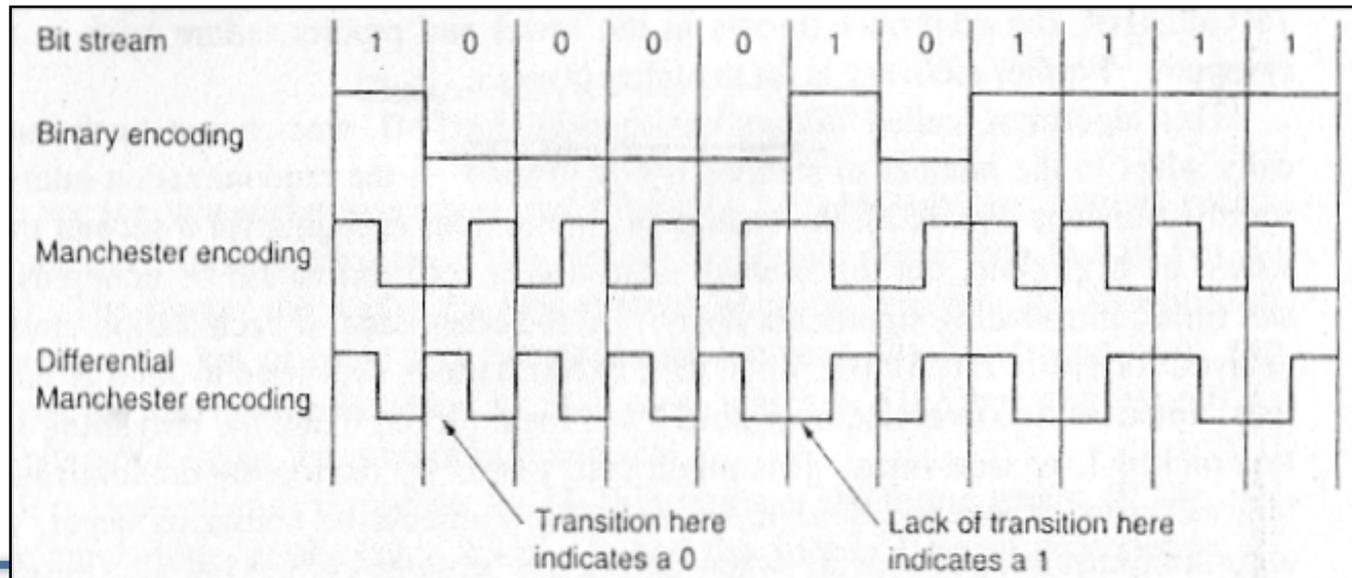


- Velocità trasmissione: 10 Mb/s (bit time =  $0.1 \mu\text{s}$ )
- Codifica Manchester (20Mbit/s di clock per facilitare recupero sincronismo in rete asincrona)
- Stazioni: max 1024 ( $2^{10}$ )
- Mezzi trasmissivi:
  - 10 BASE 5: cavo coassiale spesso RG213
  - 10 BASE 2: cavo coassiale sottile RG58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

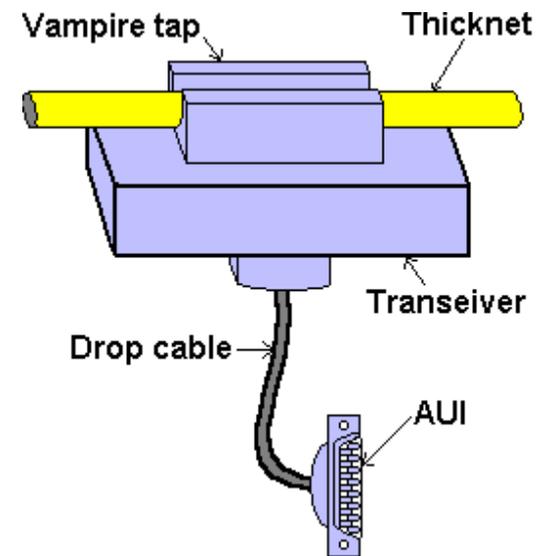
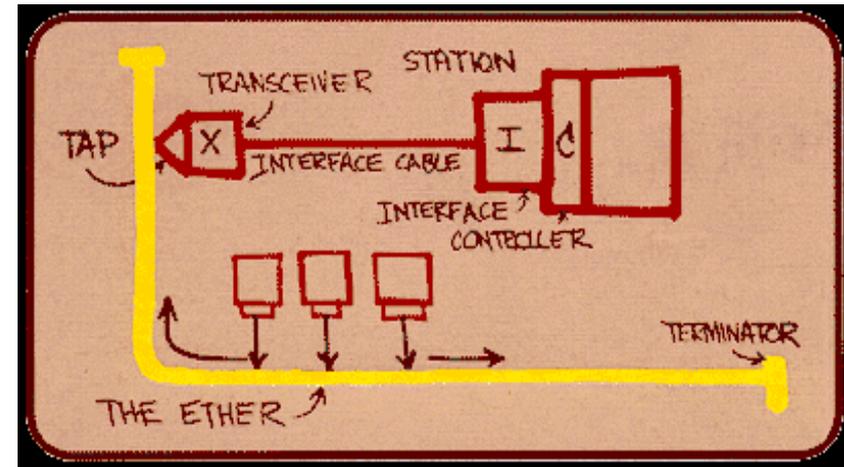


- Topologie:
  - bus o albero di bus: 10 BASE 5, 10 BASE 2
  - stella: 10 BASE T, 10 BASE FB, 10 BASE FP
- Possono essere utilizzati repeater
  - decodificano e ricodificano Manchester
  - rilevano collisione e la inoltrano su tutte le porte
  - rigenerano preambolo (802.3)
  - isolano segmenti di rete 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



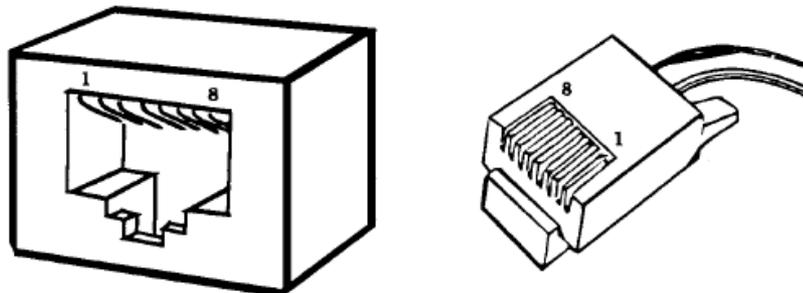
- Cavo coassiale spesso
  - stazioni collegate con transceiver cable e connessione a vampiro su cavo coassiale
- Su transceiver cable ho segnali tx, rx e collisione rivelata (e alimentazione)
- Topologia a bus, oppure a bus interconnessi a 10 Mb/s
- Lunghezza massima segmento coassiale 500 m (max 100 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  $51.2 \mu\text{s}$
- Round trip delay massimo ammesso dallo standard:  $45 \mu\text{s}$
- 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

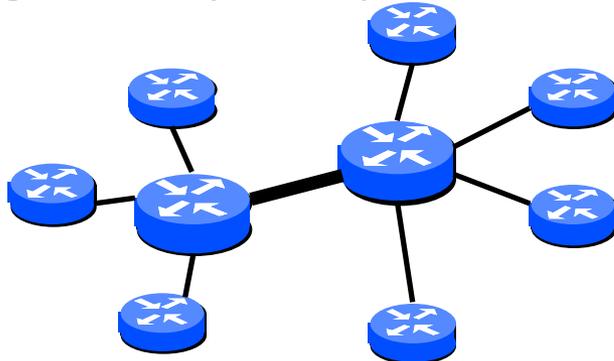


# 10 Gigabit Ethernet

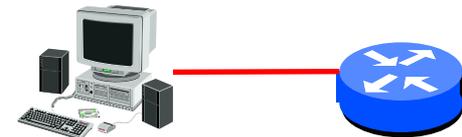
- Il comitato IEEE 802.3 ha standardizzato 10, 40 e 100 Gbit/s Ethernet
- Solo la modalità full duplex, senza CSMA-CD
- Soluzioni proposte:
  - Seriale, con framing Ethernet, su distanze da LAN fino a 40 Km
    - 65 m su fibra multimodo (MMF)
    - 300 m su MMF installata
    - 2 km su fibra monomodo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

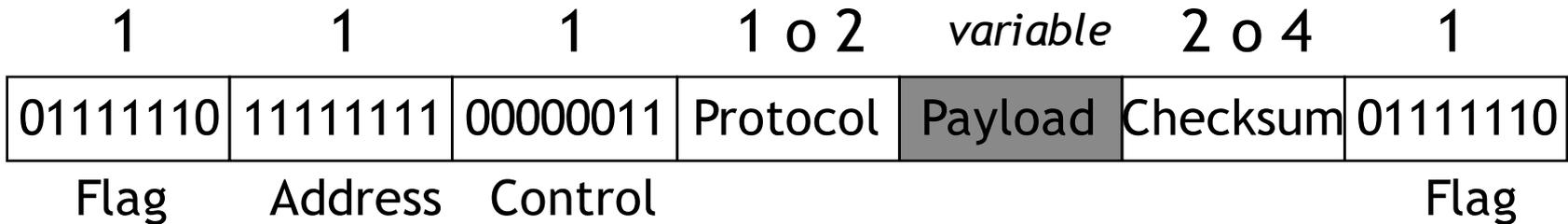


collegamento punto-punto dial-up tra un PC e un router



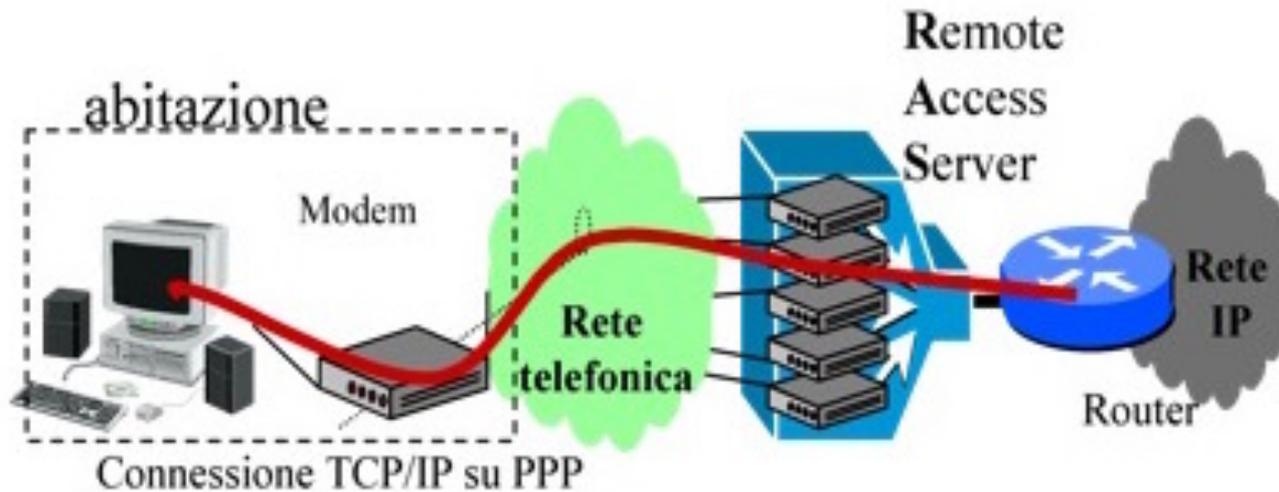


# PPP: Formato della trama

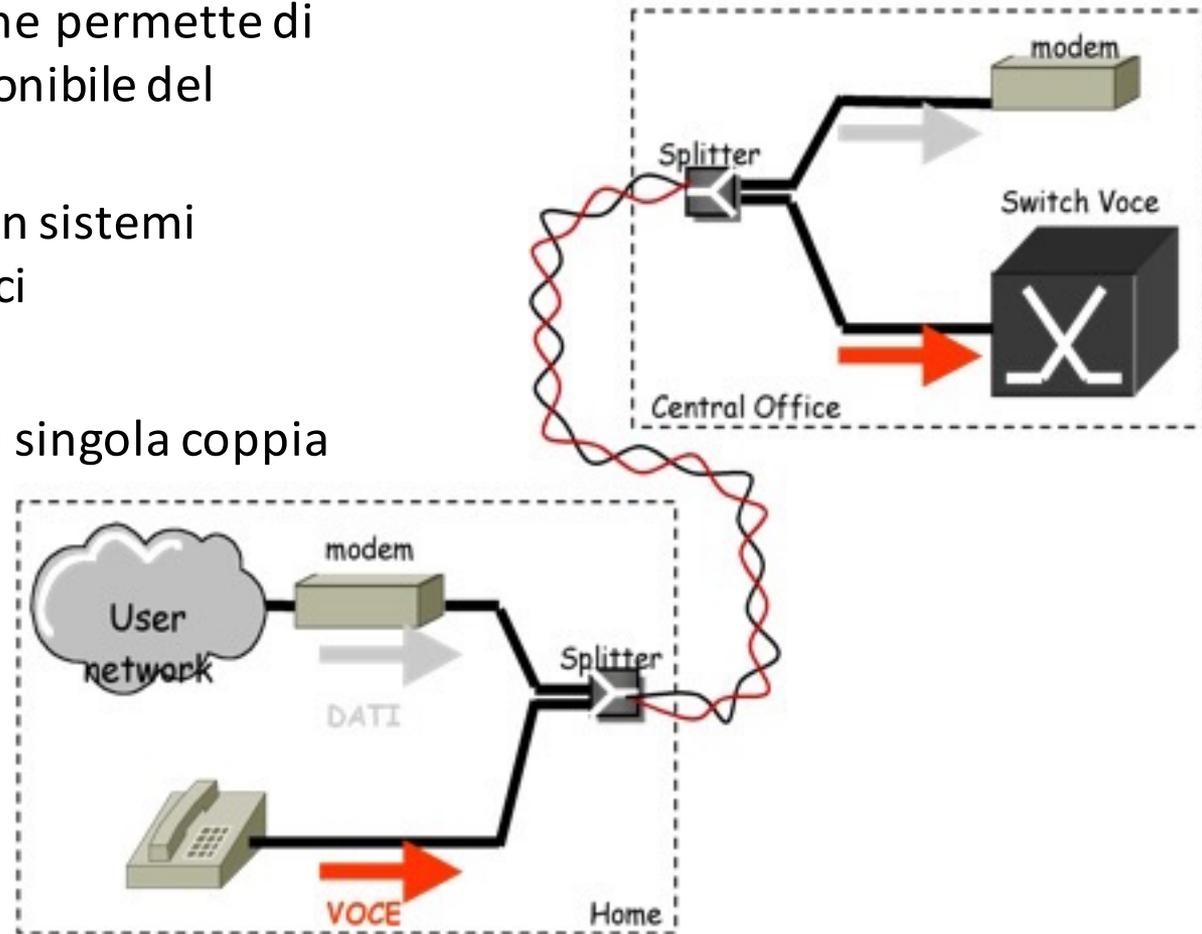


- Flag (1 byte)
  - identifica inizio e fine della trama (“01111110”)
- Address (1 byte)
  - utilizzato in configurazione “tutti gli host”
- Control (1 byte)
  - valore predefinito “00000011” ⇒ *unnumbered*
- Protocol (1 o 2 byte)
  - identifica il tipo di livello di frame (LCP, NCP, IP, IPX, ...)
-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

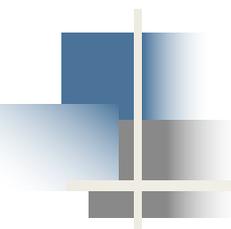
- Modem (es.: V.90)
  - utilizza la banda telefonica per inviare i segnali
  - ha limite estremo superiore 56 (64) kbit/s



- 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

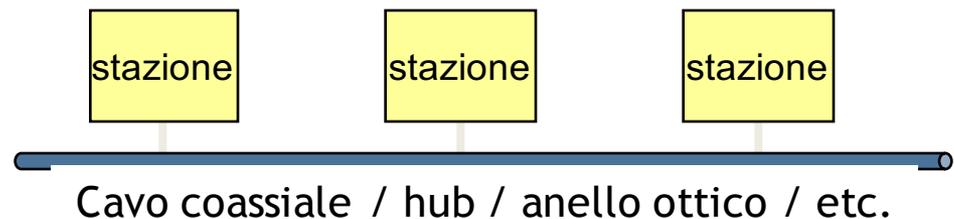


# LAN estese



---

- 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



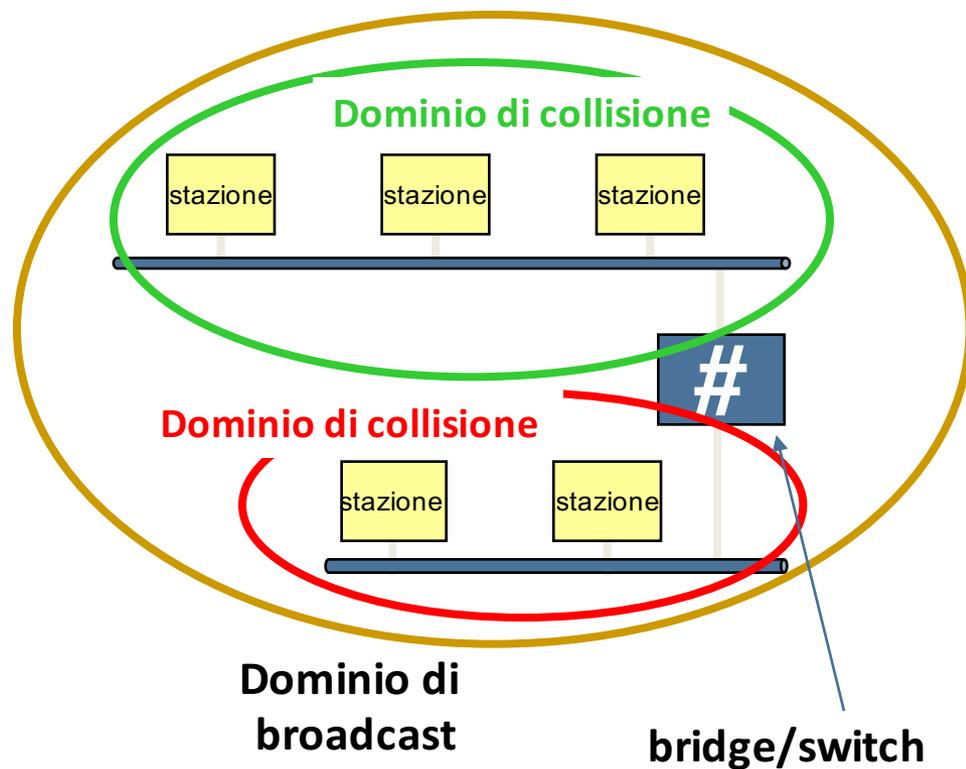
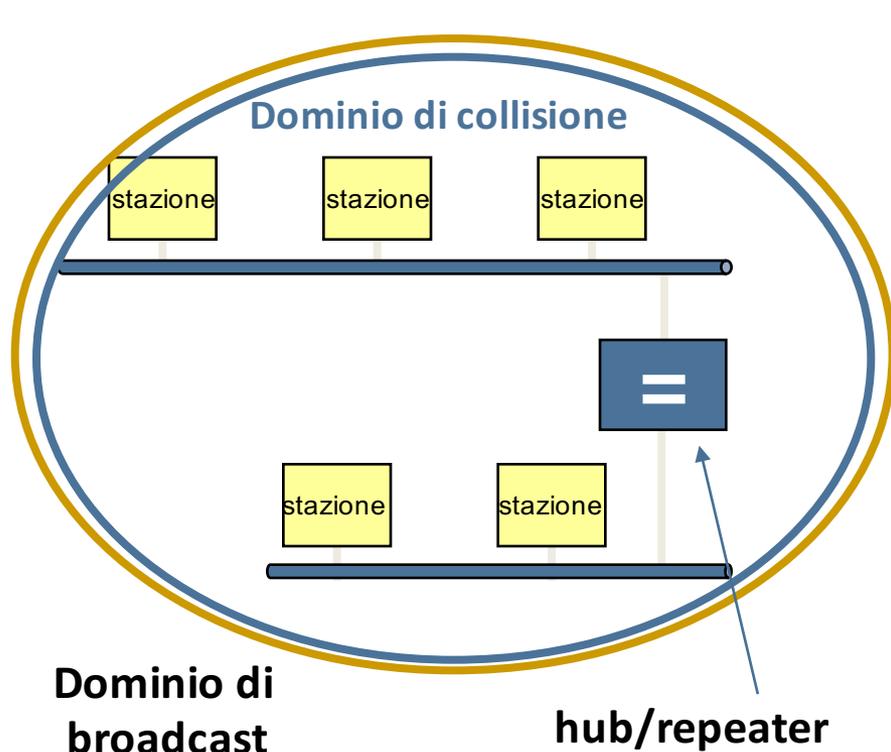


- **Dominio di collisione**
  - parte di rete per cui, se due stazioni trasmettono dati contemporaneamente, il segnale ricevuto dalle stazioni risulta danneggiato (collisione)
- **Dominio di broadcast**
  - parte di rete raggiunta da una trama con indirizzo broadcast (a livello 2)
- Stazioni appartenenti 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

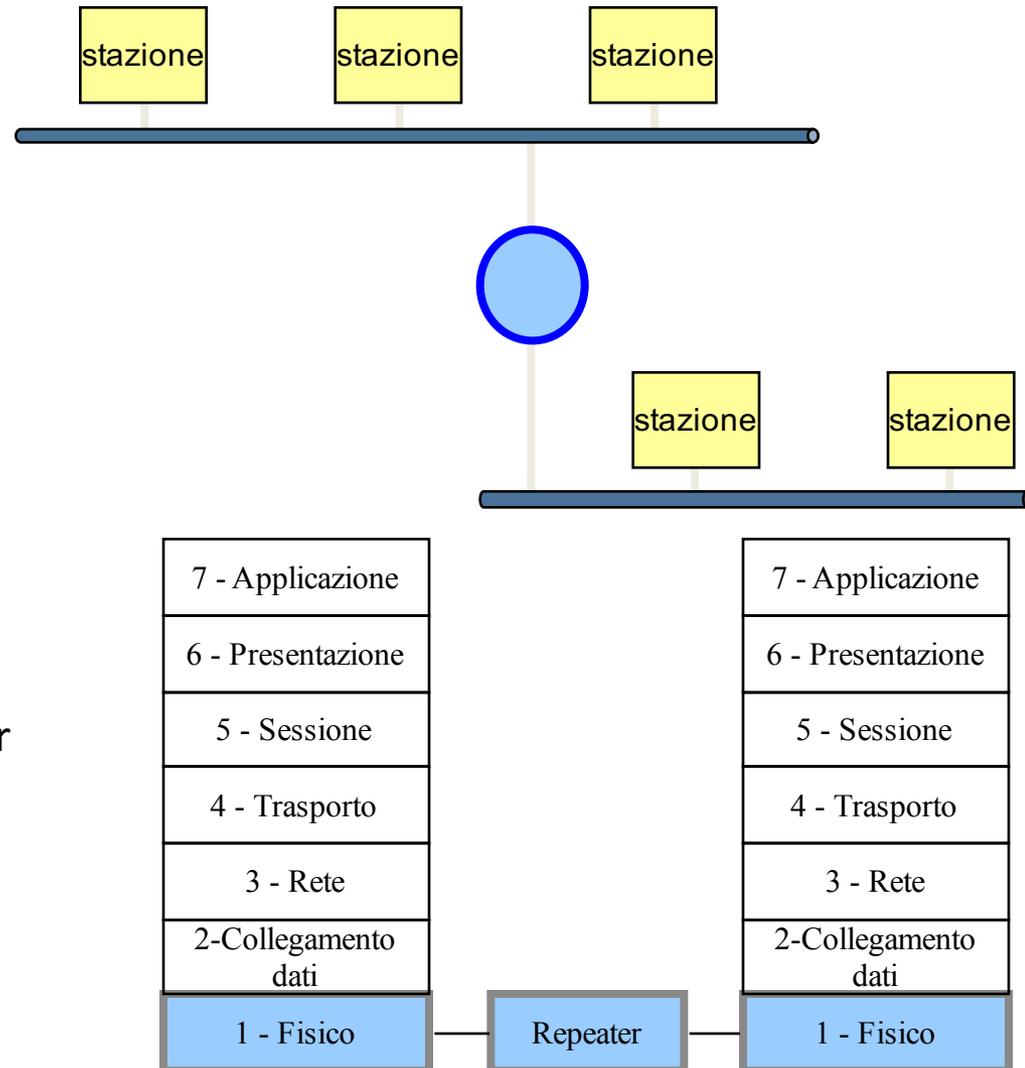


# Dominio di collisione

## Dominio di broadcast

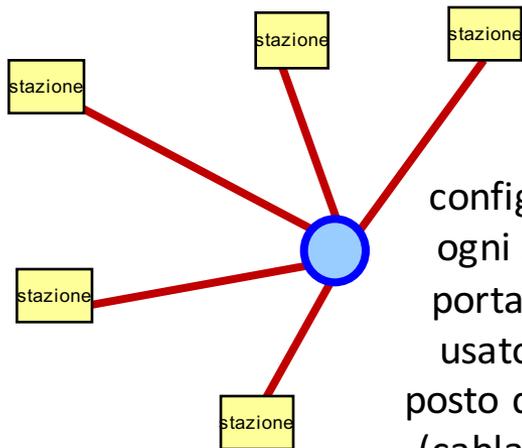
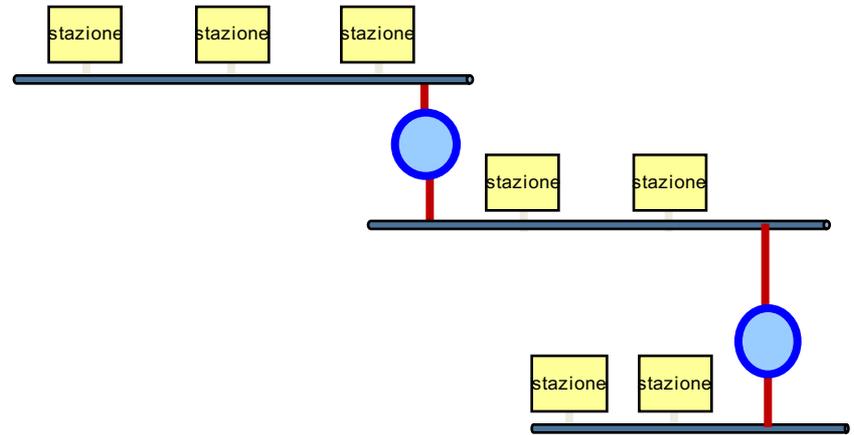
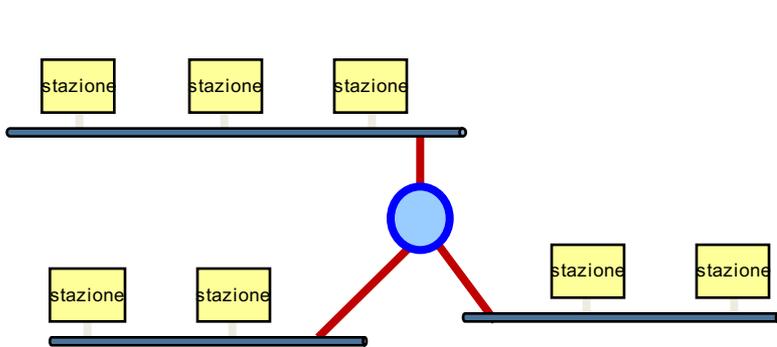


- Interviene solo a livello fisico ISO/OSI
- Replica le trame in arrivo da un segmento ad un altro, amplificando il segnale
- I repeater possono connettere più di due segmenti
  - in questo caso si parla di **Hub**
    - copia le trame che riceve su una porta su tutte le altre porte
  - il segnale trasmesso 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

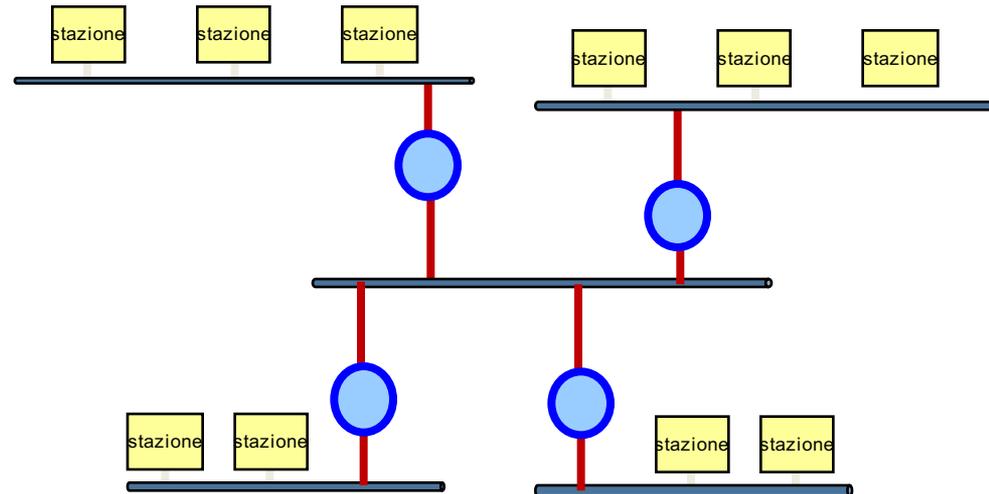


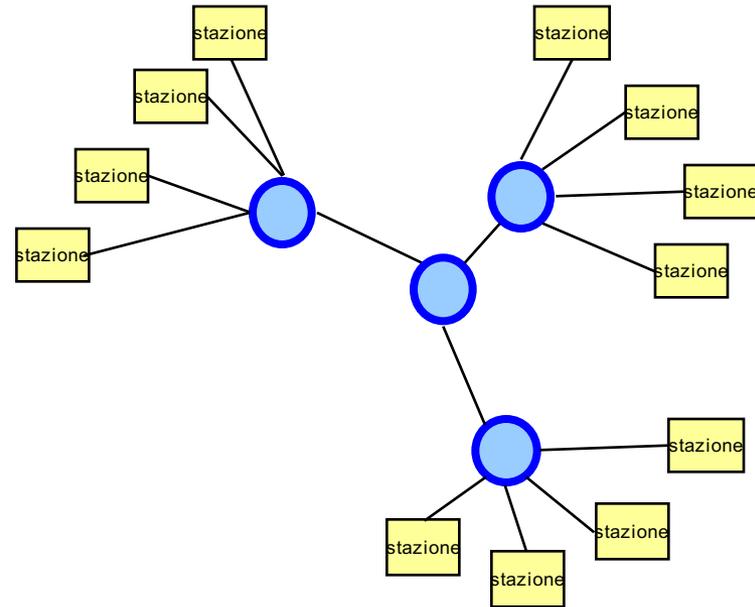
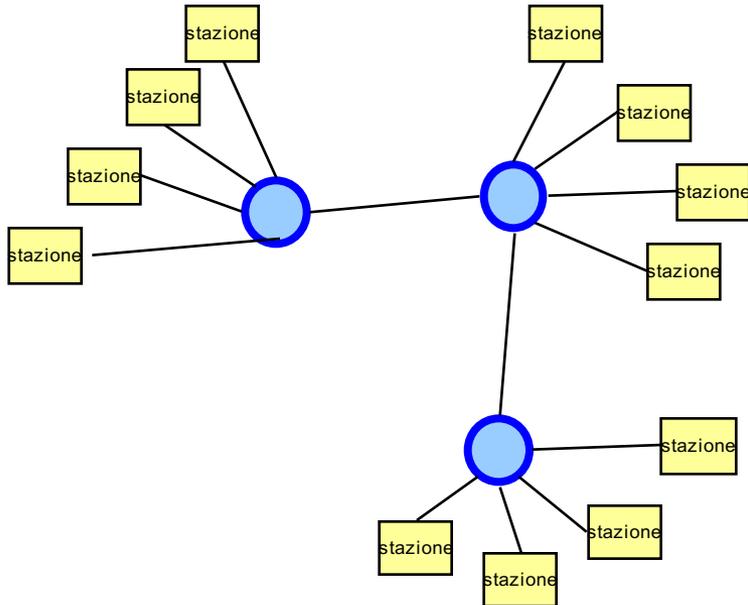


# Alcune possibili combinazioni



In questa configurazione, in cui ogni stazione ha una porta dedicata, viene usato un doppino al posto del cavo coassiale (cablaggio strutturato)



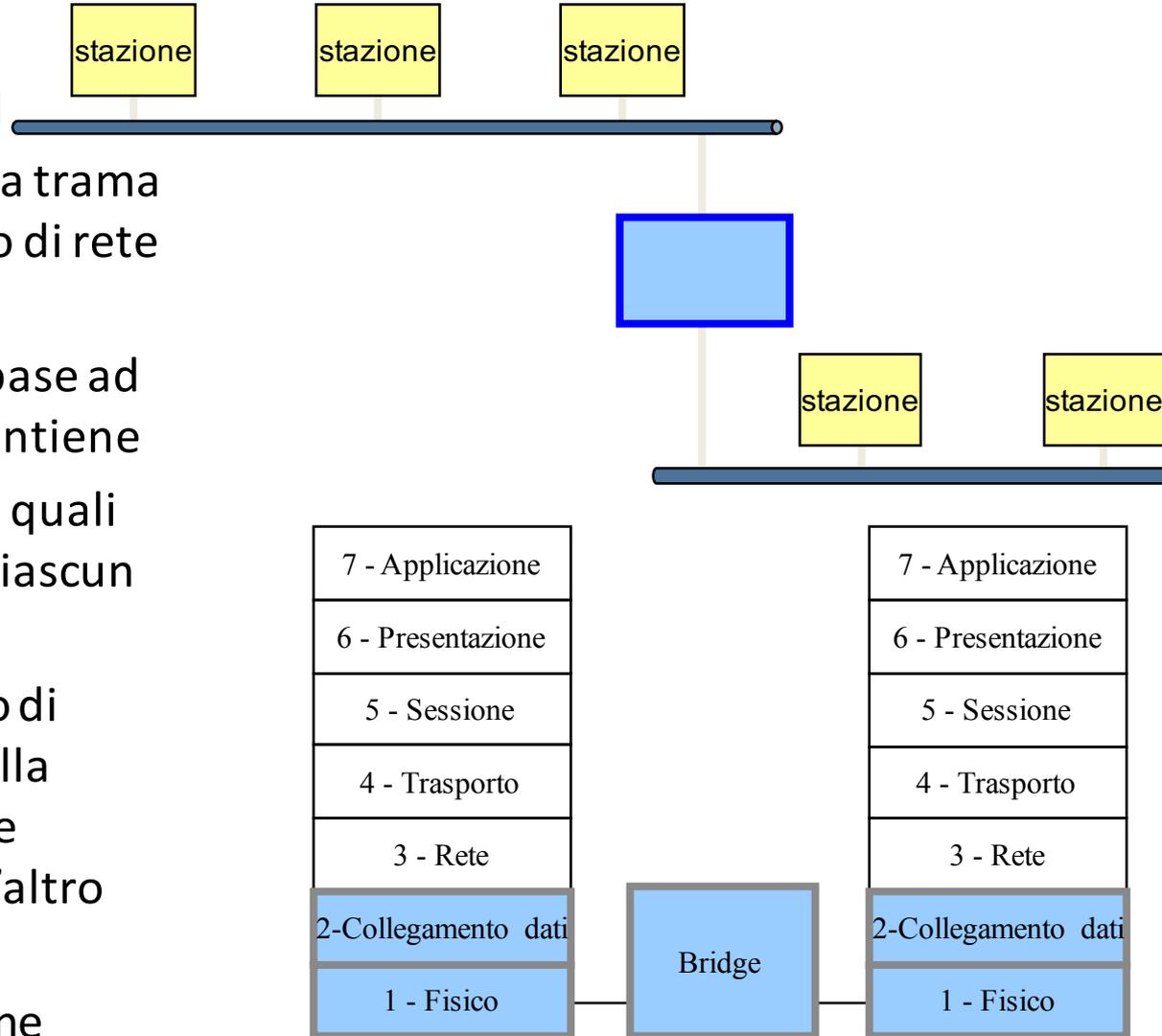


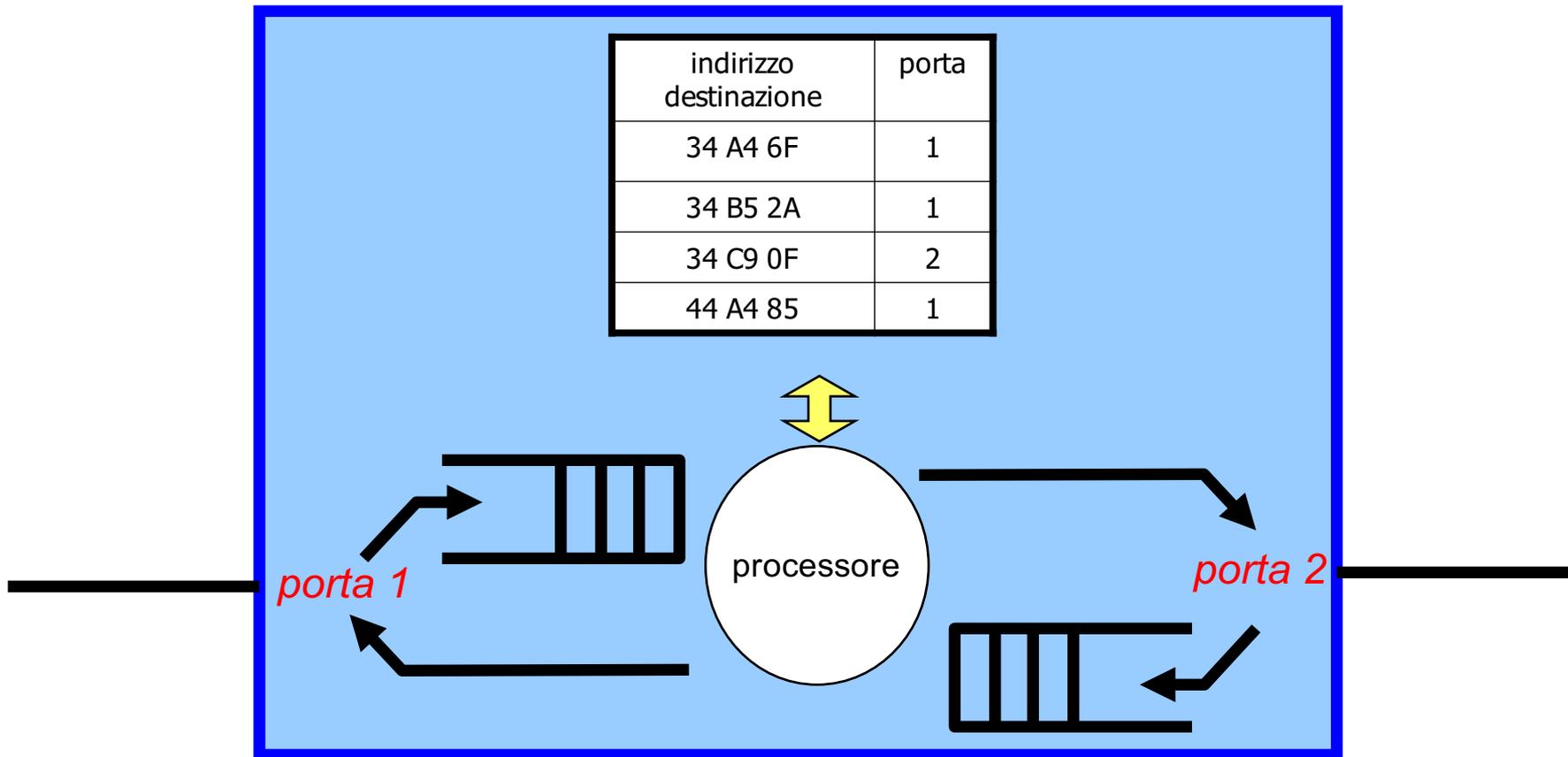
- Il problema legato a questo tipo di configurazioni è l'eccessiva estensione del dominio di collisione
  - con i repeater/hub è come se tutte le stazioni condividessero lo stesso mezzo fisico



# 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

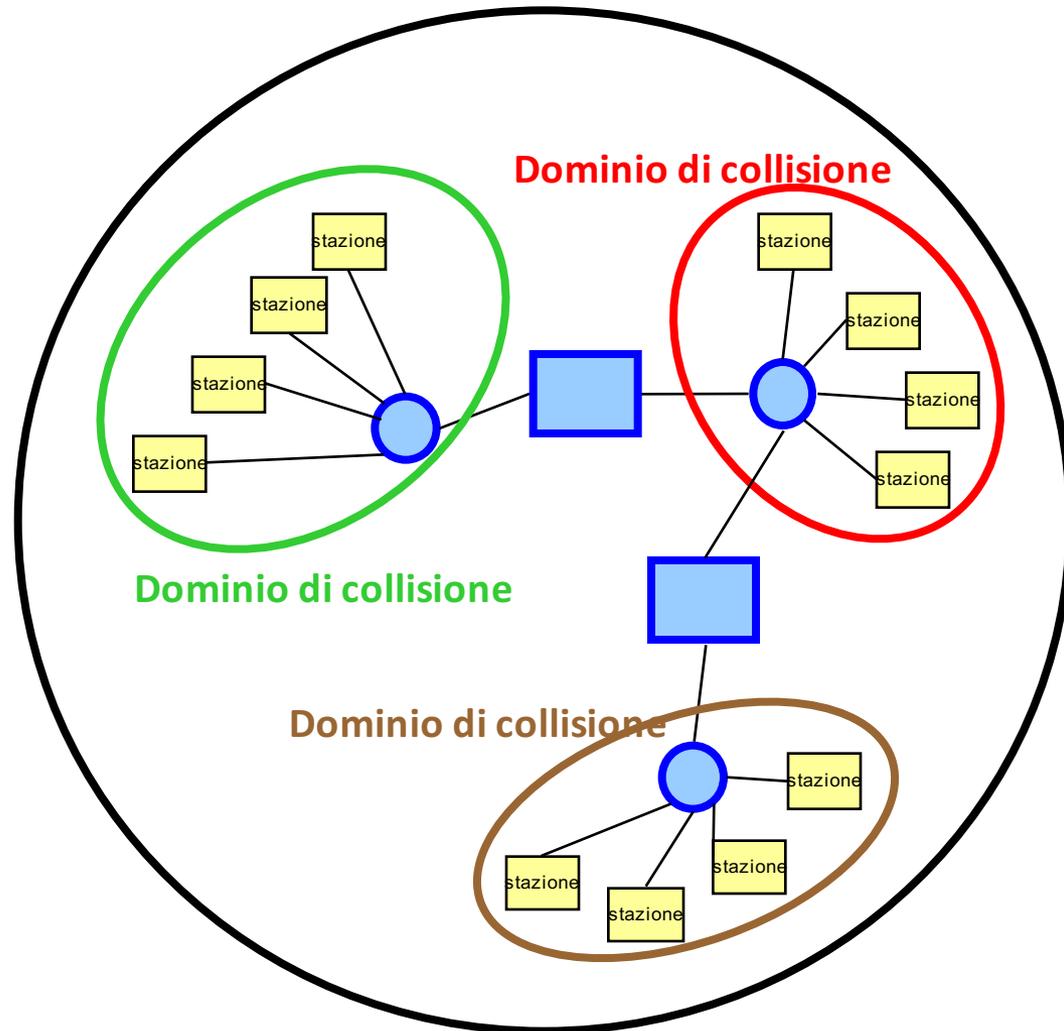




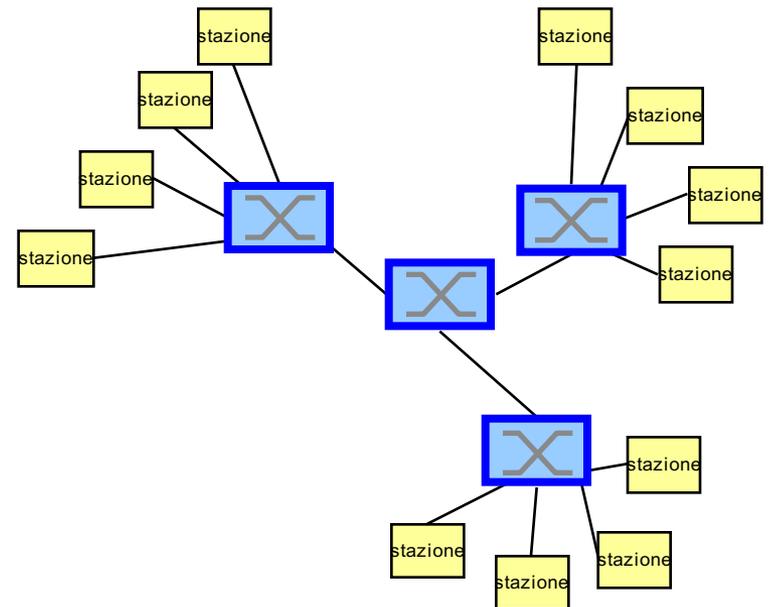
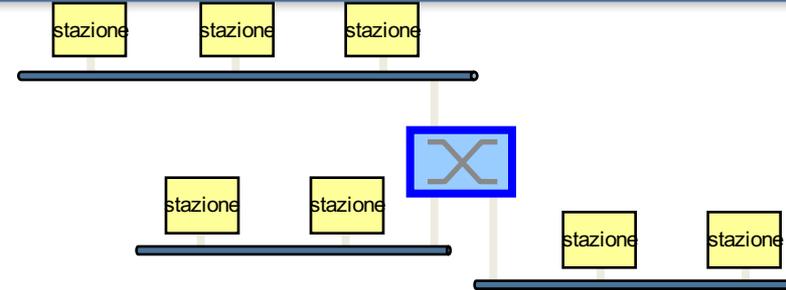


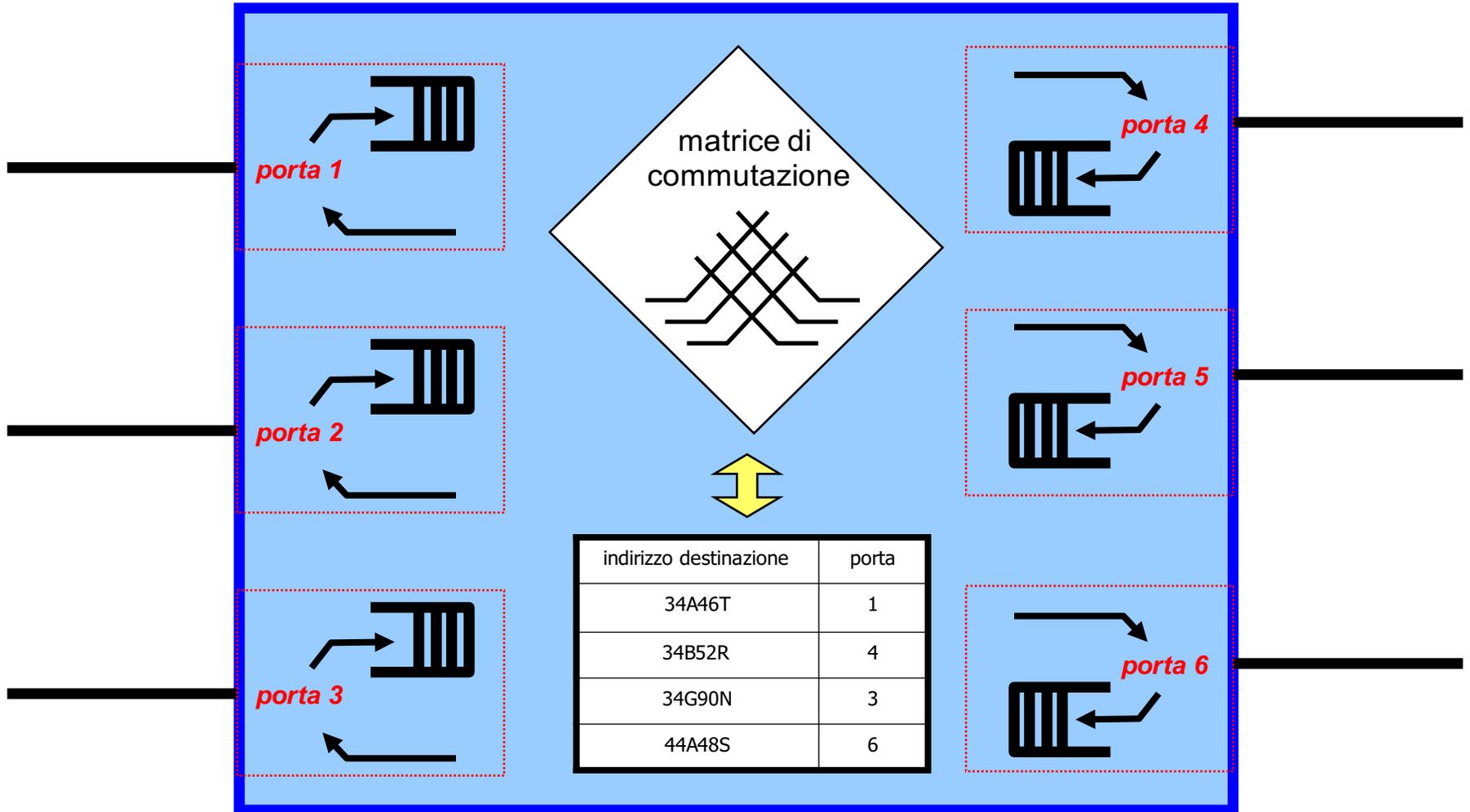
## Dominio di broadcast

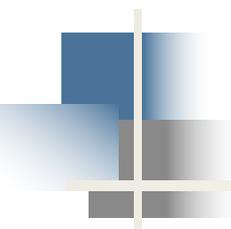
- Spezza il dominio di collisione, ovvero ciascun segmento di rete è conteso solo da chi è attestato sull'hub
- Gli hub vedono il bridge come una stazione qualsiasi che genera trame
- La trama è propagata dal bridge solo se il destinatario è attestato su un hub diverso da quello di origine
- Il concetto 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



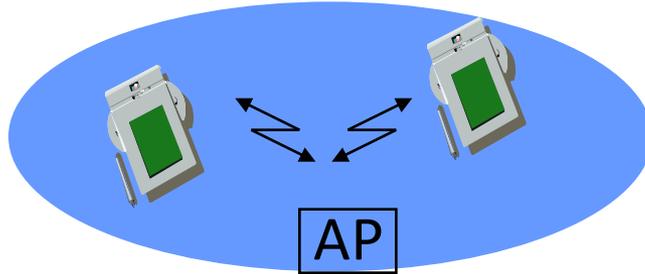




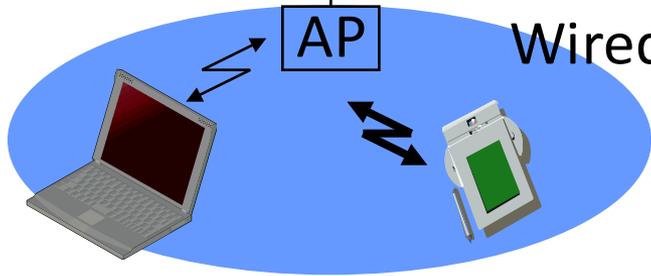
# WiFi – 802.11

---

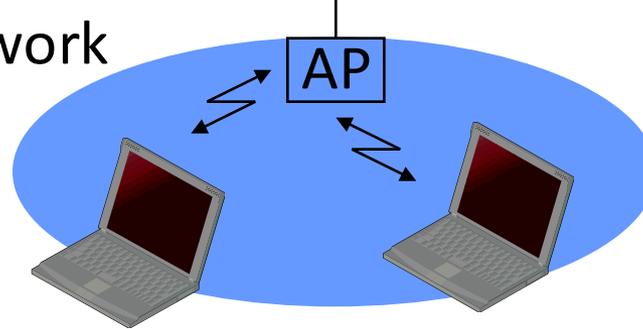
## Infrastructured Network



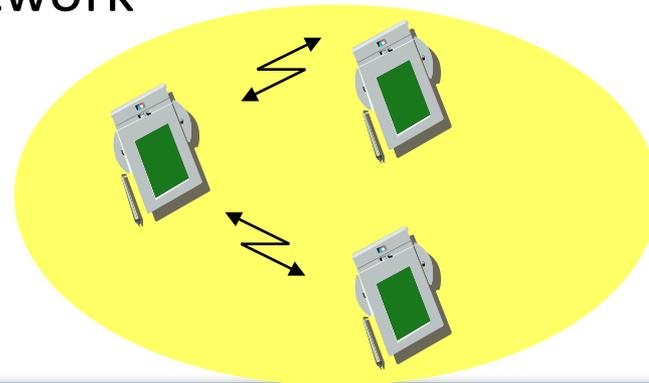
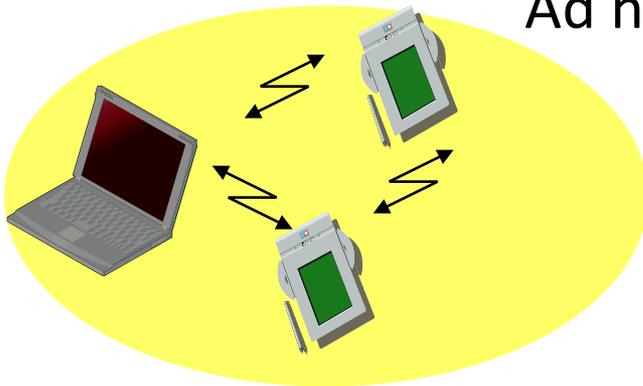
AP: Access Point

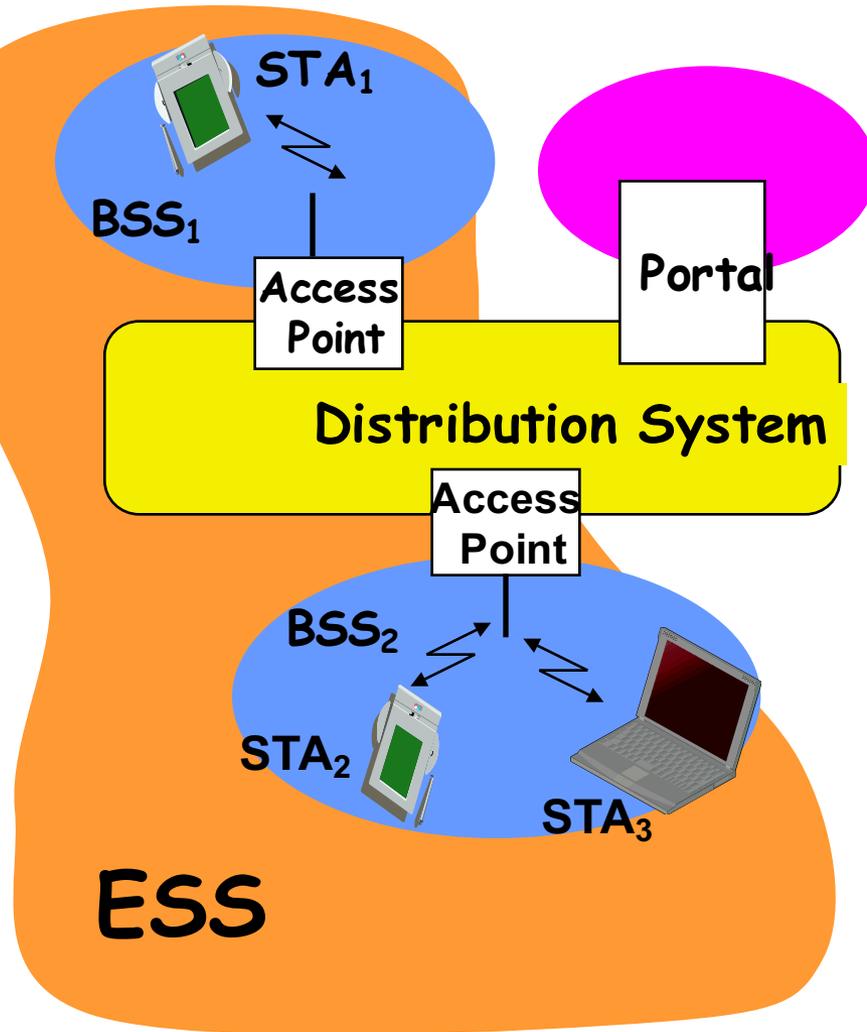


Wired Network



## Ad hoc Network





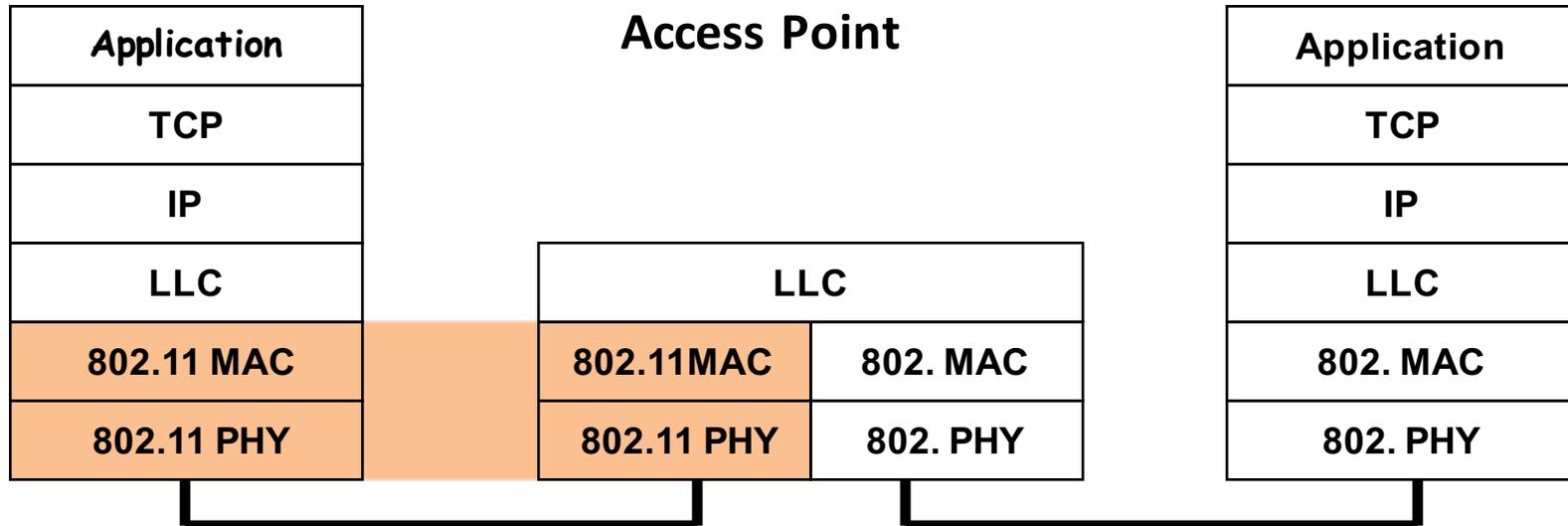
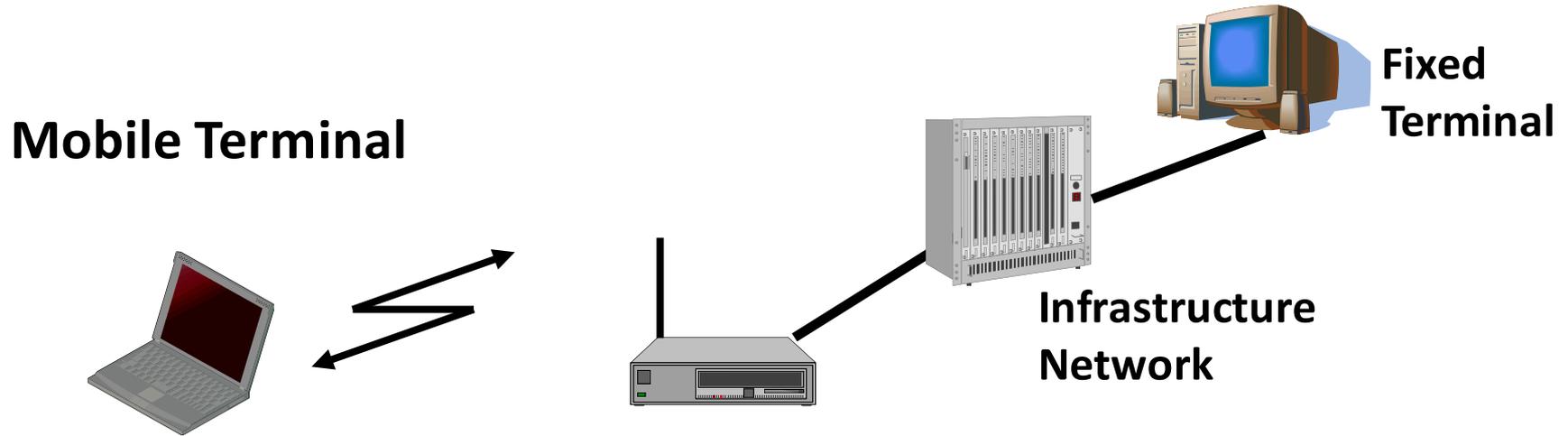
- Station (STA)
  - Terminal
- Basic Service Set (BSS)
  - Group of stations using the same radio frequency
- Access Point
  - Station integrated into the wireless LAN and the distribution system
- Portal
  - Bridge to other networks
- Distribution System
  - Interconnection network to form one logical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

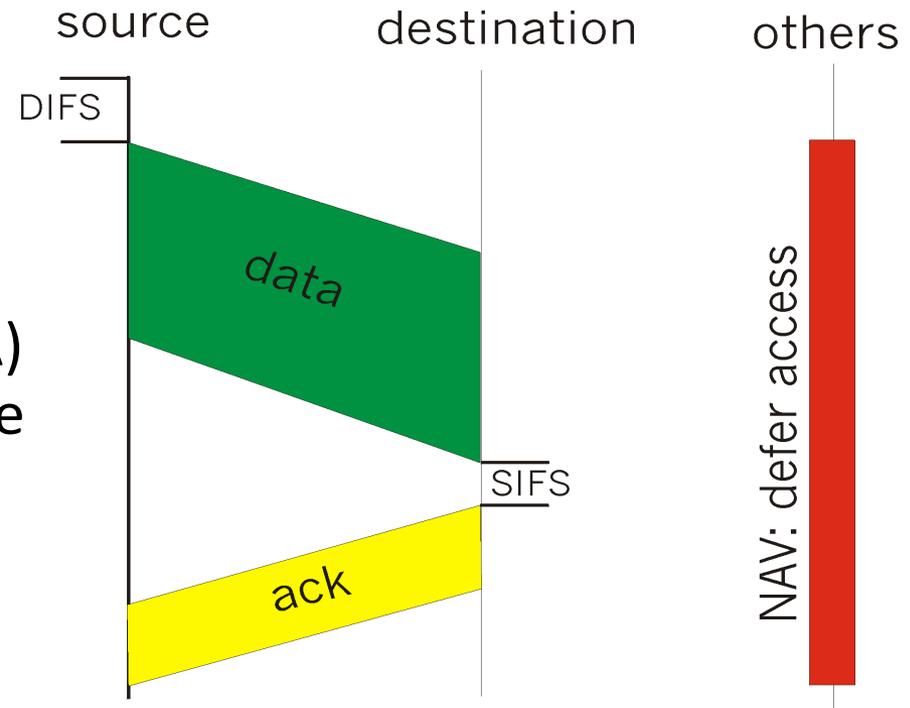
then transmit frame

- 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

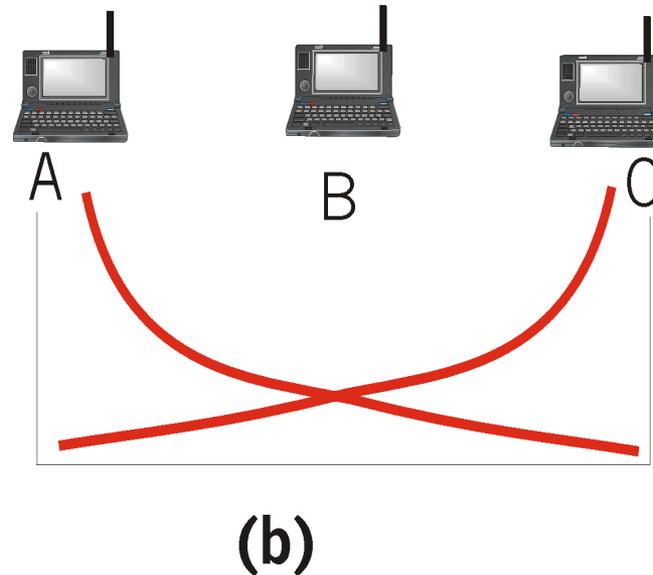
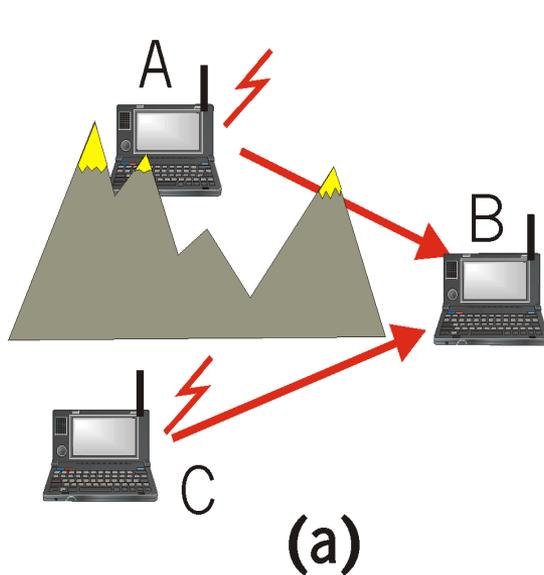
return ACK after **SIFS**





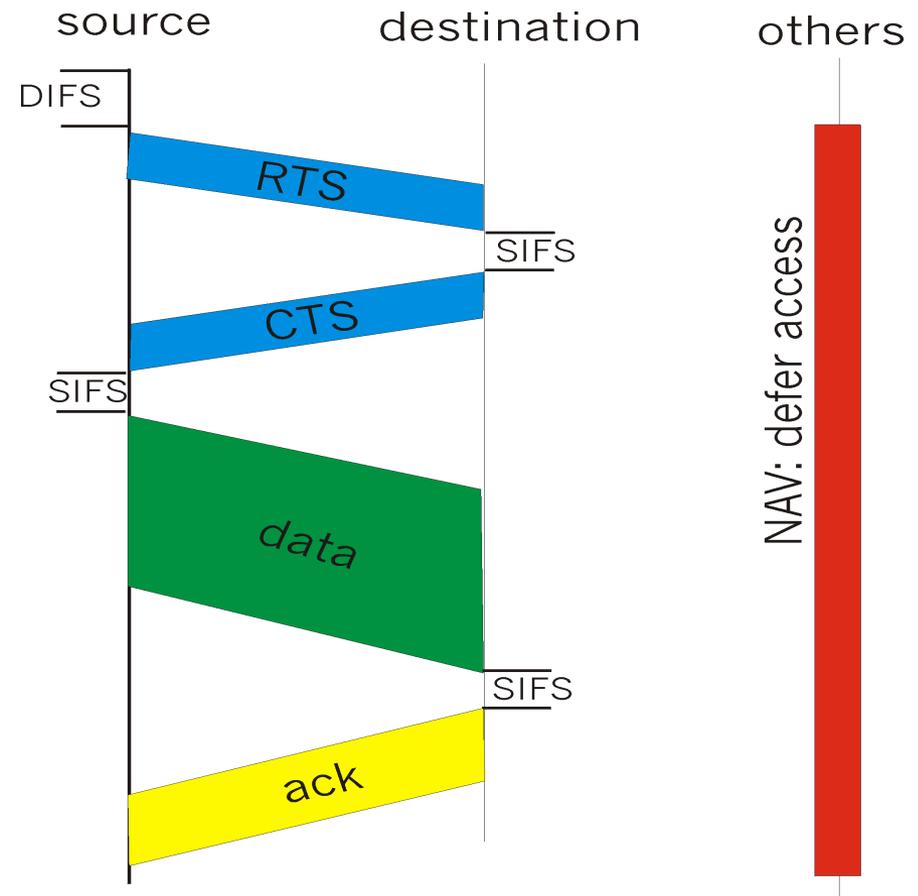
# Hidden Terminal Effect

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



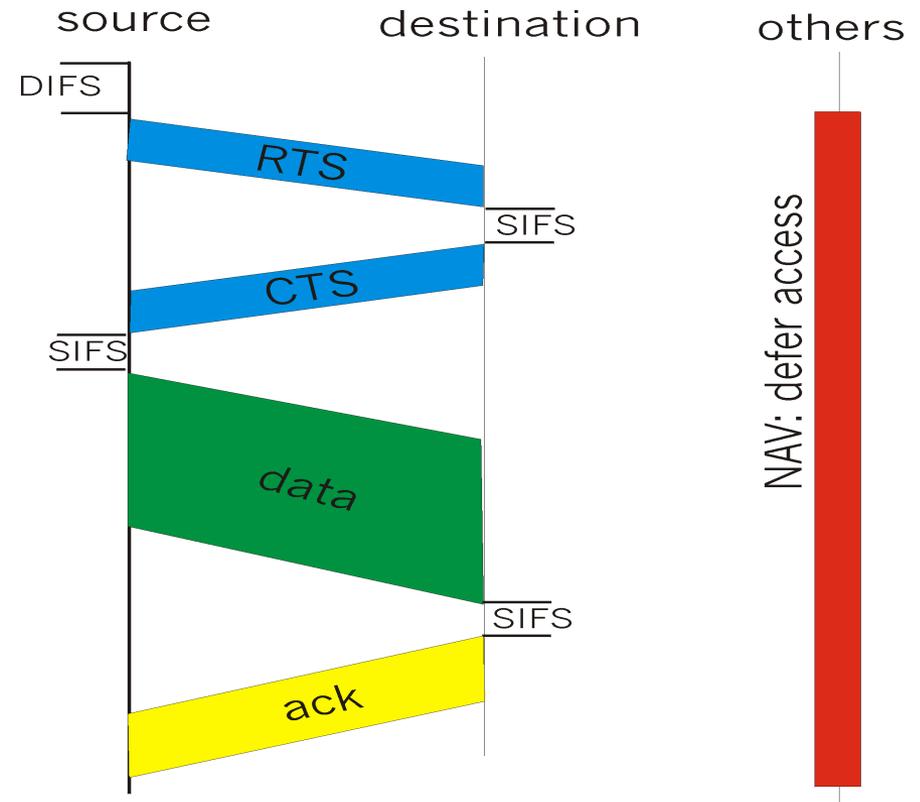


- CSMA/CA: explicit channel reservation
  - sender: send short RTS (request to send)
  - receiver: reply with short CTS (clear to send)
- CTS reserves channel for sender, notifying (possibly hidden) stations
- reduces hidden station collisions
- increase overhead





- 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

