

**Standard LAN, Ethernet, LAN Estese
e cenni ad altre reti di livello 2**

Renato Lo Cigno

Copyright

Quest'opera è protetta dalla licenza:

Creative Commons
Attribuzione-Non commerciale-Non opere derivate
2.5 Italia License

Per i dettagli, consultare
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/it/>



Introduzione

- L'elemento unificante è il protocollo di Rete
 - il livello 3 ha visibilità end-to-end
- Esistono dunque diverse modalità di incapsulamento dei pacchetti IP
 - ovvero esistono diversi protocolli di livello 2
- Alcuni modalità di incapsulamento dei pacchetti IP
 - soluzioni utilizzate prevalentemente per l'accesso
 - ethernet e IEEE 802.3
 - PPP
 - PPP con modem
 - PPP con ADSL
 - soluzioni utilizzate prevalentemente per backbone (non le vediamo)
 - Frame Relay
 - ATM
 - SDH
 - Carrier Ethernet
 - IP over Optical



Ethernet e Standard IEEE 802.3 Caratteristiche e prestazioni

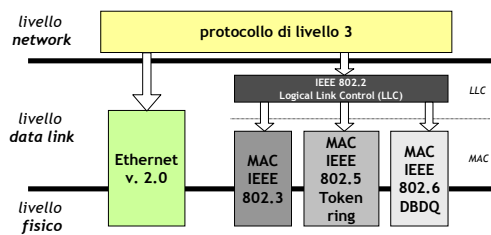
- Ambito di utilizzo
 - reti locali (LAN)
 - uffici, campus universitari, ...
- Tecnologia economica
 - facilità di installazione e manutenzione
- Si interfaccia direttamente e gestisce il livello fisico
- Sopporta un carico medio del 30% (3 Mb/s) con picchi del 60% (6 Mb/s)
- Sotto carico medio
 - Il 2-3% dei pacchetti ha una sola collisione
 - Qualche pacchetto su 10,000 ha più di una collisione
- Principale differenza tra Ethernet e 802.3
 - 802.3 definisce un'intera famiglia di sistemi CSMA/CD con velocità 1-10Mbps
 - Ethernet è solamente a 10Mbps

locigno@disi.unitn.it

4



Ethernet e Standard IEEE 802.3 Posizionamento nello stack



locigno@disi.unitn.it

5



Ethernet e Standard IEEE 802.3 Algoritmi implementati

- 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

locigno@disi.unitn.it

6



CSMA: collisioni?

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

locigno@disi.unitn.it 7

Prestazione CSMA

- 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}

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

locigno@disi.unitn.it 8

CSMA/CD (Collision Detection)

- 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)

locigno@disi.unitn.it 9

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

locigno@disi.unitn.it 10

CSMA/CD: prestazioni (1)

- 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): collisione rilevata prima, riduco lo spreco
 - con velocità di trasmissione bassa: pochi bit trasmessi quando rilevo collisione

locigno@disi.unitn.it 11

Ethernet e Standard IEEE 802.3

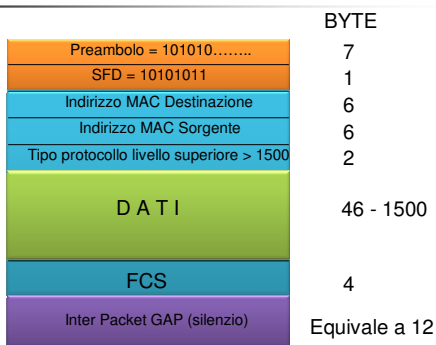
Formato della trama

| | | | | | | | |
|----------|--------------------------|---------|--------|-------------------|---------|---------|----------|
| 7 | 1 | 6 | 6 | 2 | >0 | 0-46 | 4 |
| Preamble | Start of frame delimiter | DestAdd | SrcAdd | Length of payload | Payload | Padding | Checksum |

- 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 della trama

locigno@disi.unitn.it 12

Ethernet: formato di trama



locigno@disi.unitn.it

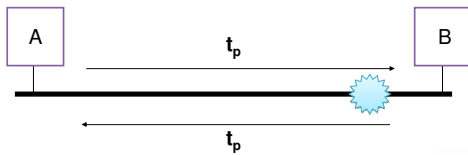
13



Round Trip Delay

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

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



locigno@disi.unitn.it

14




Ethernet: parametri di progetto

- Il tempo di trasmissione di una trama non può essere inferiore al RTD**
- 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
- Diametro del Collision Domain

locigno@disi.unitn.it

15






Collision Domain

- 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 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


locigno@disi.unitn.it 16



Diametro di un Collision Domain

- 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 da:
 - lunghezza massima dei cavi (attenuazione del segnale che induce uso di repeater, con ritardo aggiuntivo)
 - ritardo di propagazione (round trip delay)

locigno@disi.unitn.it 17



Caratteristiche MAC Ethernet

- 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

locigno@disi.unitn.it 18

Ethernet: livello fisico

- Velocità trasmissione: 10 Mb/s (bit time = 0.1μs)
- Codifica Manchester (20Mbit/s di clock per facilitare recupero sincronismo in rete asincrona) CC1
- Stazioni: max 1024 (2¹⁰)
- 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

locigno@disi.unitn.it 19

Ethernet: livello fisico

- 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
 - possono ridurre preambolo e non modificare inter-packet gap o viceversa

CC2 CC3

locigno@disi.unitn.it 20

Codifica Manchester

- Tradizionale
 - ogni periodo di bit è suddiviso in due sottoperiodi
 - "0" ⇒ basso,alto
 - "1" ⇒ 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

Bit stream: 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1

Binary encoding:

Manchester encoding:

Differential Manchester encoding:

Transition here indicates a 0

Lack of transition here indicates a 1

locigno@disi.unitn.it 21

Slide 19

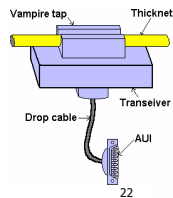
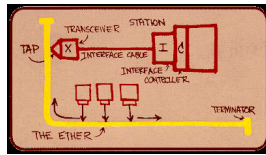
- CC1** A high number of retries indicates a busy network with more stations wanting to transmit than originally assumed. That is why the backoff time range is increased exponentially to provide more possible slot times for the additional stations. At ten retries, it is assumed that 1024 simultaneous transmitters exist. This becomes the upper bound limit of stations that can coexist on one Ethernet network. Actually this is the logical limit. Physically it may be impossible to have that many stations on one collision domain without violating cabling rules.(source: <http://ethernet.industrial-networking.com/ieb/articledisplay.asp?id=50>)
Casetti, 5/30/2006

Slide 20

- CC2** Da SWITCHED LAN di Baldi:- Un repeater Ethernet riceve una trama e perde alcuni bit di sincronizzazione e ritrasmette a valle tutto a partire dal primo bit che riesce ad agganciare. Non posso avere più di due repeater tra due stazioni altrimenti si "mangiano" tutto il preambolo- Un repeater 802.3 riceve una trama, aspetta di agganciare il preambolo e da quel momento trasmette a valle un pacchetto completo. Quindi, si mangia non il preambolo ma l'IFS nel caso in cui ritrasmetta due pacchetti generati da clock simili (il secondo impiega meno tempo ad agganciarlo rispetto al primo). Rischio di avere due pacchetti appiccicati e quindi incomprensibili.
Casetti, 5/29/2006
- CC3** What exactly do 10Base5, 10BaseT, 10Base2 mean?A: These are the IEEE names for the different physical types of Ethernet. The "10" stands for signalling speed: 10MHz. "Base" means Baseband. Initially, the last section was intended to indicate the maximum length of an unrepeated cable segment in hundreds of meters. This convention was modified with the introduction of 10BaseT, where the T means twisted pair, and 10BaseF where the F means fiber. This actually comes from the IEEE committee number for that media.
Casetti, 10/16/2007

10 BASE 5

- 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



locigno@disi.unitn.it



10 BASE 2

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



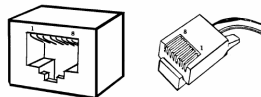
locigno@disi.unitn.it

23



10 BASE T

- 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)



locigno@disi.unitn.it

24



Ethernet: ritrasmissioni

- Slot time = 512 bit time (51.2 μ 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

locigno@disi.unitn.it 25

Ethernet: parametri e temporizzazioni


- Inter Packet Gap = 9.6 μ s
 - Distanza minima 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
- Addresssize = 48 bit
 - Lunghezza indirizzi MAC

locigno@disi.unitn.it 26

Ethernet: parametri e temporizzazioni


- Pacchetto minimo 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


locigno@disi.unitn.it 27



Evoluzione di Ethernet


- Fast Ethernet
 - Ethernet a velocità di 100Mbps
- Gigabit Ethernet
 - formato e dimensione dei pacchetti uguale a Ethernet/802.3
 - velocità di 1 Gbps (in corso di standardizzazione anche 10 Gbps)
 - Offre i vantaggi tipici di Ethernet:
 - Semplicità di accesso al mezzo CSMA/CD
 - Alta scalabilità tra le diverse velocità di trasmissione
 - Permette di velocizzare le moltissime LAN Ethernet e FastEthernet già presenti con costi contenuti tramite sostituzione apparati di rete (Hub, Switch, interfacce)


locigno@disi.unitn.it 28 



Fast Ethernet


- 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

locigno@disi.unitn.it 29 



Gigabit Ethernet

- 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)
- Backward compatibility con mezzi fisici già installati
- 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 massimp
- Codifica 8B10B

locigno@disi.unitn.it 30 

Modifiche al protocollo

- 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)

locigno@disi.unitn.it 31

10 Gigabit Ethernet

- Il comitato IEEE 802.3ae ha standardizzato 10 Gbit/s Ethernet (luglio 2002)
- 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
 - Seriale, su SONET, per distanze maggiori di 40 Km
- Per maggiori informazioni:
 - www.10gea.org
 - www.ieee802.org

locigno@disi.unitn.it 32

PPP: caratteristiche

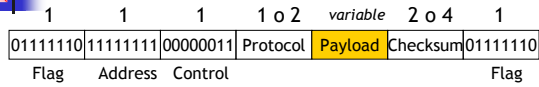
- Point-to-Point Protocol: E' un protocollo di livello 2 utilizzato sia nell'accesso e che nel backbone
- Caratteristiche principali:
 - character oriented
 - character stuffing per il framing
 - identificazione degli errori
 - supporta vari protocolli di livello superiore (rete)
 - negoiazione dinamica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

collegamento punto-punto tra router

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

locigno@disi.unitn.it 33

PPP: Formato della trama



- Flag (1 byte)
 - identifica inizio e fine della trama ("011111110")
- Address (1 byte)
 - utilizzato in configurazione "tutti gli host"
- Control (1 byte)
 - valore predefinito "00000011" ⇒ *unnumbered*
 - di default non fornisce un servizio affidabile: richiesta di ritrasmissione e rimozione repliche sono lasciate ai livelli superiori
 - è disponibile un'estensione per reti con alto BER (wireless) ad un servizio connection oriented (RFC1663)
- 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

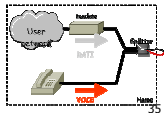
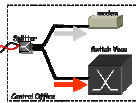
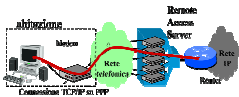
locigno@disi.unitn.it

34



PPP: accesso con modem e ADSL

- Modem (es.: V.90)
 - utilizza la banda telefonica per inviare i segnali
 - ha limite estremo superiore 56 Kbps
- xDSL (Digital Subscriber Line)
 - famiglie di tecnologie che permette di utilizzare la banda disponibile del doppio telefonico
 - si possono distinguere in sistemi simmetrici e asimmetrici
 - es: ADSL
 - Sistema asimmetrico su singola coppia
 - Rate adaptive:
 - 640 – 8200 kb/s downstream
 - Fino a 512 kb/s upstream
 - Strato di trasporto di livello 2: PPP su ATM
 - Distanze: a seconda del bit-rate



locigno@disi.unitn.it



LAN estese

Introduzione

Cavo coassiale / hub / anello ottico / etc.

- 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 economici
- Grazie proprio agli aspetti economici, tale tecnologia è stata utilizzata e si è diffusa particolarmente nelle *reti locali* (Local Area Networks, LAN)
- La rappresentazione tipica di una LAN è una serie di stazioni (PC) connesse ad un segmento di cavo (bus)
- Poiché il segmento non può essere troppo lungo...
 - attenuazione del segnale
 - 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

locigno@disi.unitn.it 37

Dominio di collisione – Dominio di broadcast

- Dominio di collisione**
 - parte di rete per cui, se due stazioni trasmettono dati contemporaneamente, il segnale ricevuto dalle stazioni risulta danneggiato
- Dominio di broadcast** (detto anche *Segmento data-link*)
 - 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 solo influire sul dominio di collisione

locigno@disi.unitn.it 38

Repeater e Hub

- 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

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| 7 - Applicazione | 7 - Applicazione |
| 6 - Presentazione | 6 - Presentazione |
| 5 - Sessione | 5 - Sessione |
| 4 - Trasporto | 4 - Trasporto |
| 3 - Rete | 3 - Rete |
| 2 - Collegamento dati | 2 - Collegamento dati |
| 1 - Fisico | 1 - Fisico |

locigno@disi.unitn.it 39

Alcune possibili combinazioni

In questa particolare configurazione con l'hub, in cui ogni stazione ha una porta dedicata, viene usato un doppino al posto del cavo coassiale

locigno@disi.unitn.it 40

e ancora...

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

locigno@disi.unitn.it 41

Bridge

- Collega 2 segmenti di rete
- Apparato dotato di intelligenza
 - 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
 - quando viene generata una trama, 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

| | |
|---------------------|---------------------|
| 7 - Applicazione | 7 - Applicazione |
| 6 - Presentazione | 6 - Presentazione |
| 5 - Sessione | 5 - Sessione |
| 4 - Trasporto | 4 - Trasporto |
| 3 - Rete | 3 - Rete |
| 2-Collegamento dati | 2-Collegamento dati |
| 1 - Fisico | 1 - Fisico |

locigno@disi.unitn.it 42

Schema di un bridge

| indirizzo destinazione | porta |
|------------------------|-------|
| 34A46T | 1 |
| 34B52R | 1 |
| 34G90N | 2 |
| 44A48S | 1 |

locigno@disi.unitn.it 43

Bridge: esempio di configurazione

- 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 *segmento data-link* viene preservato: ogni frame indirizzato ad un indirizzo broadcast di livello 2 viene ricevuta da tutti i nodi del segmento, anche se separati da diversi bridge

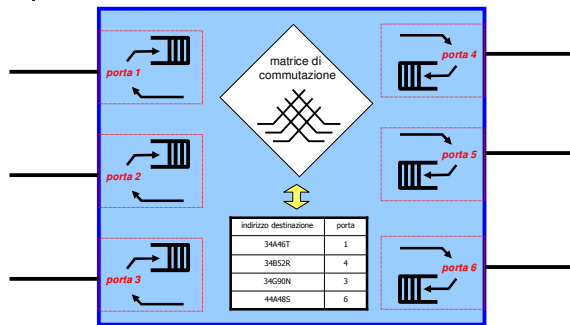
locigno@disi.unitn.it 44

Evoluzione: Layer 2 Switch

- 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

locigno@disi.unitn.it 45

Schema di uno switch

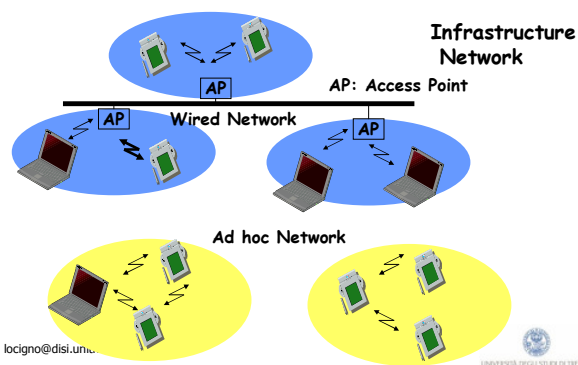


locigno@disi.unitn.it

46



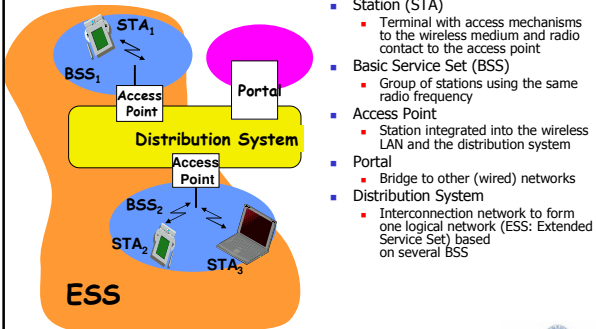
WIRELESS LANs Architecture



locigno@disi.univ



Reference Architecture of Wireless LANs



locigno@disi.unitn.it

48



Reference Architecture

- 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.

locigno@disi.unitn.it 49

Reference Architecture

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

locigno@disi.unitn.it 50

Protocol Architecture

Mobile Terminal Access Point Fixed Terminal

| | | |
|-------------|---------------|-------------|
| Application | | Application |
| TCP | | TCP |
| IP | | IP |
| LLC | LLC | LLC |
| MAC | MAC 802.3 MAC | 802.3 MAC |
| PHY | PHY 802.3 PHY | 802.3 PHY |

locigno@disi.unitn.it 51

Family of Wireless LAN (WLAN) Standards 802.11

- 802.11a - 5GHz- Ratified in 1999
- 802.11b - 11Mb 2.4GHz- ratified in 1999
- 802.11d - Additional Regulatory Domains
- 802.11e - Quality of Service
- 802.11f - Inter-Access Point Protocol (IAPP)
- 802.11g - Higher Data rate (>20Mbps) 2.4GHz
- 802.11h - Dynamic Frequency Selection and Transmit Power Control Mechanisms
- 802.11i - Authentication and Security
- 802.11n - Very High Bandwidth (10-20 times more)
- It is a live and evolving standard

locigno@disi.unitn.it

52



802.11 Technologies Comparison

| | 802.11b | 802.11g | 802.11a |
|-----------------|---------------|---|------------------------------|
| Max rate (Mbps) | 11 | 54 | 54 |
| Modulation Type | CCK | CCK, OFDM | OFDM |
| Data Rates | 1, 2, 5.5, 11 | 1, 2, 5.5, 11, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 | 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 |
| Frequency | 2.4-2.497GHz | 2.4-2.497GHz | ~5GHz |

locigno@disi.unitn.it

53