



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Protocolli PH e DL nelle LAN

Luca Veltri

(mail.to: luca.veltri@unipr.it)

Corso di Reti di Telecomunicazioni A, a.a. 2007/2008

<http://www.tlc.unipr.it/veltri>



Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

LAN

Reti in area locale (LAN)

- Una LAN è un sistema di comunicazione che permette di interconnettere apparecchiature indipendenti in un'area limitata
- Sono spesso caratterizzate da
 - Velocità trasmissiva elevata
 - Basso tasso di errore
 - Estensione geografica limitata (edificio, gruppo di edifici)
 - Mezzi trasmissivi condivisi (almeno in origine)
 - Utilizzo di particolari protocolli di accesso al mezzo
 - Facilità di installazione e gestione
 - HW plug&play
 - assenza di configurazione (indirizzi, routing, etc)
 - Sotto la proprietà di una singola organizzazione e gestita da questa

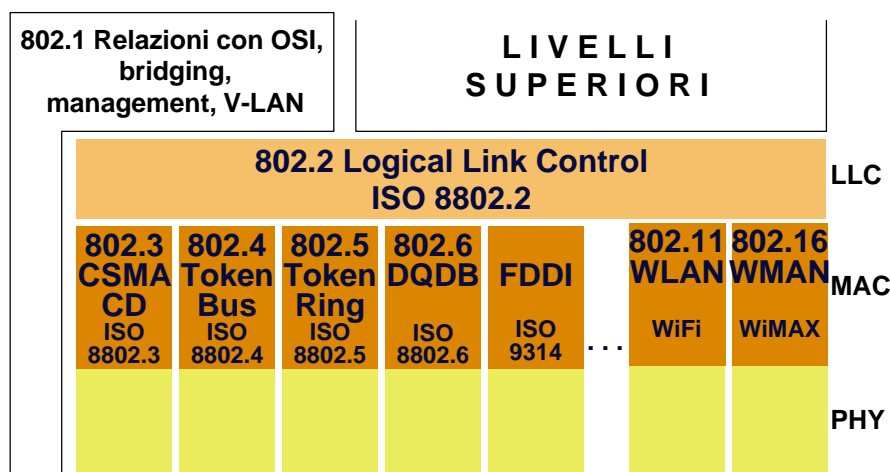
2



Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

LAN

Il modello IEEE 802



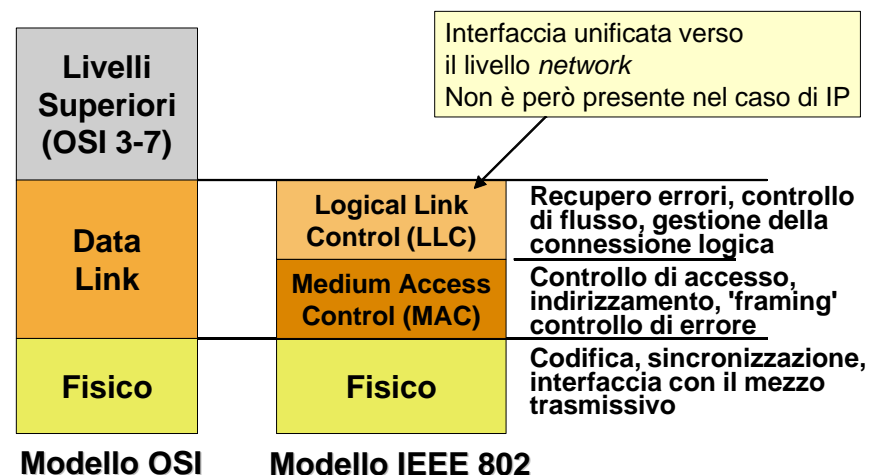
3



Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

LAN

IEEE 802 vs OSI



4

Standard 802.3 / Ethernet (CSMA/CD)

La rete Ethernet

- La rete Ethernet è una delle reti locali più diffuse a livello mondiale
- Nacque agli inizi degli anni 70 presso il laboratorio di ricerca Xeros californiano
- Nel 1982 lo standard divenne Ethernet II (Digital, Intel, Xeros)
- Nel 1983 lo standard fu posto sotto il controllo dell'IEEE (nel gruppo 802).

6

La rete Ethernet

- La topologia delle rete (vale a dire il percorso logico che le informazioni seguono) è a BUS
- La velocità di trasmissione nella versione originale era di 10 Mbit/s in banda base con codifica di tipo Manchester
- Attualmente sono utilizzate le versioni a 100 Mb/s e a 1 Gb/s
- Le rete Ethernet è basata sul protocollo di accesso al mezzo CSMA/CD
- Dimensione minima di un pacchetto 64 bytes (tale valore corrisponde al tempo necessario per assicurare che tutte le stazioni siano in grado di rivelare una avvenuta collisione)
- Obiettivo strati PH e MAC Ethernet: (funzioni implementate)
 - trasferimento UI su mezzo condiviso (funzione MAC)
 - indirizzamento SSAP e DSAP (tramite indirizzi dei nodi sorgente e destinazione + ID protocollo strato superiore)
 - controllo di errore (non recupero)

7

IEEE 802.3: Livello MAC

- Protocollo MAC: CSMA/CD
 - Carrier Sensing Multiple Access with Collision Detection
 - concepito per topologie a bus
 - non deterministico (accesso casuale) con tempo di attesa non limitato superiormente

8

Protocollo CSMA/CD (1)

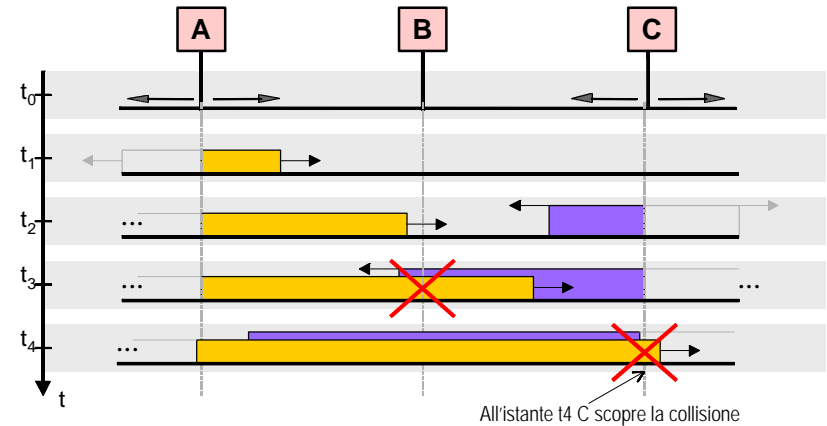
- CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
- E' usato nella topologia a bus bidirezionale
- Procedura di accesso al mezzo (CSMA):
 - Una stazione prima di tentare la trasmissione verifica lo stato del mezzo (**Carrier Sensing**)
 - Se il mezzo è occupato si ritarda l'emissione ad un istante successivo (si attende che diventi libero)
 - Quando il mezzo è libero si attende un tempo di **deferring** (distanziamento delle trame) e si effettua la trasmissione (due PDU consecutive devono essere separate da un intervallo di durata non inferiore a un valore specificato - tempo di intertrama)
- A causa del ritardo di propagazione non nullo il protocollo CSMA non evita completamente le collisioni



9

Protocollo CSMA/CD (2)

- Tra due stazioni avviene una collisione se esse accedono al canale in istanti che distano tra loro un tempo inferiore a quello di propagazione tra le due stazioni



10

Protocollo CSMA/CD (3)

- Durante l'emissione si ascolta il canale per verificare eventuali collisioni (**Collision Detection**)
- Se è rivelata una collisione
 - si interrompe l'emissione della trama e si "rinforza" la collisione con una **sequenza di jamming** (procedura di collision enforcement) per segnalare l'evento alle altre stazioni
 - si esegue poi l'**algoritmo di subentro** per decidere quando deve essere rimessa la PDU andata in collisione
 - l'accesso viene tentato nuovamente dopo un intervallo di tempo ΔT deciso dall'algoritmo di subentro
 - Per ridurre l'aumento di traffico per ritrasmissioni il valore di ΔT aumenta **esponenzialmente** all'aumentare del numero di collisioni consecutive verificatesi

11

Back-off esponenziale

- Algoritmo che controlla le ritrasmissioni in caso di collisioni
- Parametri:
 - τ = tempo necessario a trasmettere 512 bit
 - n = numero di trasmissioni tentate
- Algoritmo
 - tra due trasmissioni si deve attendere $T = r * \tau$
 - al massimo 16 tentativi di trasmissione
 - r è scelto casualmente nell'intervallo

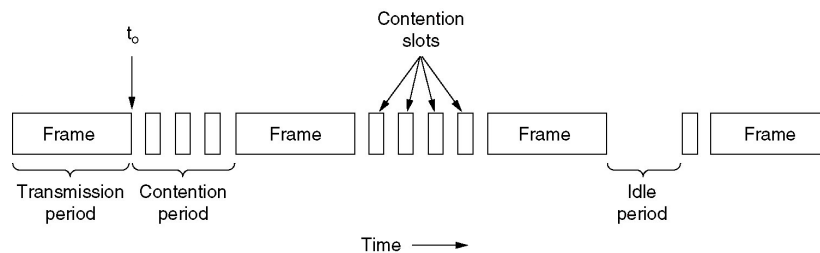
$$0 \leq r < 2^k \quad k = \min(n, 10)$$

12

Protocollo CSMA/CD (4)

- Nel caso di canale occupato, l'istante successivo di emissione è determinato in base ad una **PROCEDURA DI PERSISTENZA**

- Esempio di accesso CSMA/CD:



13

Procedura di emissione

- Procedura nella emissione delle MAC PDU:
 - 1) accettare i dati dello strato superiore (e.g. LLC) e l'indirizzo di destinazione
 - 2) formare la PDU
 - indirizzamento
 - controllo della lunghezza minima (in caso sia inferiore si effettua il riempimento)
 - calcolo del CRC (campo controllo di errore)
 - 4) presentare un flusso di dati seriale allo strato fisico per la codifica e per la successiva emissione, in accordo al protocollo MAC CSMA/CD

14

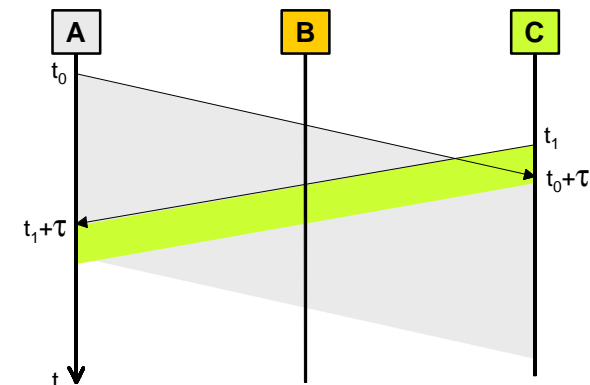
Procedura di ricezione

- Procedura nella ricezione delle MAC PDU:
 - 1) ricevere un flusso seriale di dati dallo strato fisico
 - 2) elaborare la PDU
 - controllo dell'integrità della PDU (tramite il campo di rivelazione di errore)
 - controllo dell'indirizzo di destinazione della PDU
 - 3) presentare allo strato superiore le PDU indirizzate al terminale locale

15

Intervallo di vulnerabilità

- L'intervallo di vulnerabilità è l'intervallo di tempo in cui una unità informativa emessa può subire collisione
 - è uguale a $2\tau_p$, dove τ_p è il ritardo di propagazione da estremo a estremo



16

Intervallo di vulnerabilità

- Per definizione, lo strato MAC Ethernet (IEEE 802.3) NON deve terminare l'emissione completa di una trama prima che sia certo lo stato di NON collisione
- Quindi, se R è il ritmo binario di linea, una PDU di strato MAC Ethernet non può avere lunghezza (in bit) inferiore a

$$L_{\min} = 2\tau_p R$$

- Fissati R e L_{\min} risulta limitato superiormente il tempo τ_p di propagazione da estremo a estremo
- Ethernet prevede un $L_{\min} = 64$ bytes (512 bit)

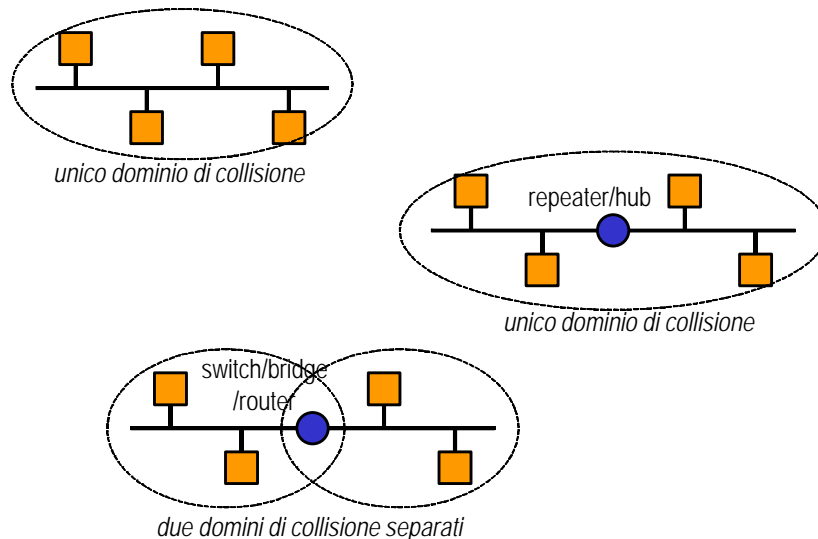
17

Dominio di collisione

- In una rete CSMA/CD al crescere del numero di stazioni e/o del traffico aumenta la probabilità di collisioni e quindi diminuisce l'efficienza della rete
- E' possibile suddividere la rete in più sottoreti in modo che la contesa del mezzo avvenga soltanto tra le stazioni appartenenti ad una singola sottorete, la quale rappresenta un singolo dominio di collisione
- Le stazioni separate da repeater fanno parte dello stesso dominio di collisione (i repeater e gli hub sono nodi di relay che lavorano a livello PH)
- Appartengono a domini di collisione diversi le stazioni separate da apparecchiature di rete che lavorano a livelli OSI superiori al fisico (bridge, switch) e che sono quindi in grado di decodificare gli indirizzi MAC e filtrare i pacchetti

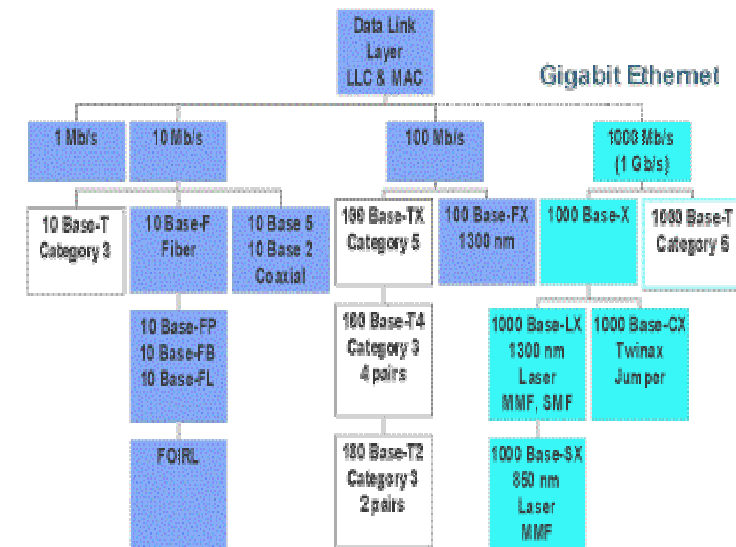
18

Dominio di collisione



19

802.3: Standard di livello fisico



20

802.3 di livello fisico: Coassiale

- Tipicamente usato per reti a BUS
- Dominante sino al '90
- Usato solo nelle versioni di Ethernet a 10Mb/s
- Tutte le stazioni collegate direttamente ad un (unico) bus
- Principali tipi:

- **Cavo grosso (Thick-RG213)**

- connessioni tramite transceiver esterno



- **Cavo sottile (Thin-RG58)**

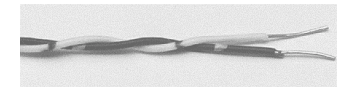
- connessioni tramite connettori BNC (a T)



21

802.3 di livello fisico: Coppia simmetrica (Twisted Pair) 10/100/1000 Base T

- Cavi con 4 coppie simmetriche e intrecciate
- Trasmissione bilanciata
 - I due conduttori trasportano lo stesso segnale, ma in controfase
 - L'avvolgimento mira a far subire ad entrambi i conduttori le stesse interferenze elettromagnetiche



- Realizza solo collegamenti punto-punto
 - richiede l'adozione di apparati di rete per collegare più stazioni (hub e switch)
- Tipi di collegamenti
 - tra stazione e stazione
 - tra stazione e apparato
 - tra apparati

22

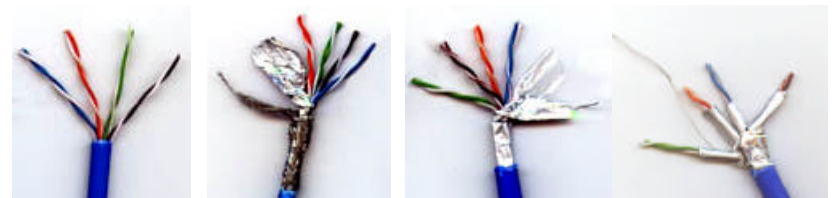
Coppia simmetrica (cont.)

- Prestazioni inferiori al cavo coassiale (su lunghe distanti)
- Lunghezza massima consigliata 100 m
 - 90 m di cablaggio strutturato
 - 10 m di cavetti di patch
- Basso costo e facilità di posa
- Facilità di connessione (connettori RJ45)
- Adatto a cablaggi strutturati
- Enorme diffusione dal '90

23

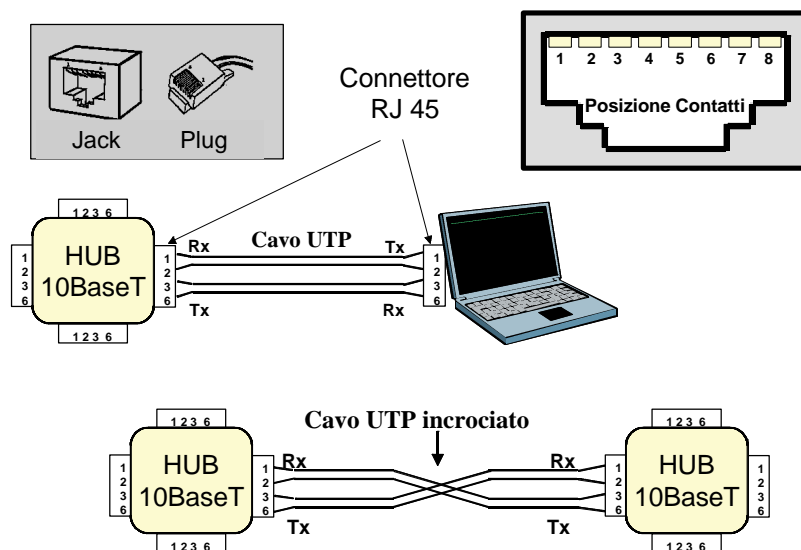
Coppia simmetrica (cont.)

- Varianti
 - UTP (Unshielded): non schermato
 - STP (Shielded): schermato coppia per coppia
 - FTP (Foiled): uno solo schermo per tutto il cavetto
 - S/FTP, S/UTP, SSTP
- Categorie dei cavi
 - 1 - telefonia analogica
 - 2 - telefonia numerica (ISDN) e dati a bassa velocità
 - 3 - dati sino a 16 MHz di banda
 - 4 - dati sino a 20 MHz di banda
 - 5 - dati sino a 100 MHz di banda
 - 6 - dati sino a 250 MHz di banda
 - 7 - dati sino a 600 MHz di banda



24

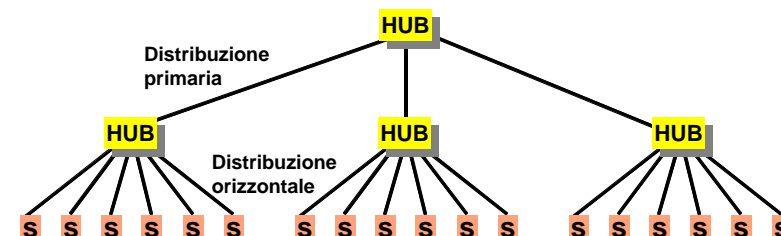
Connettori per Base-T



25

Cablaggio in Coppia Simmetrica

- Topologia stellare gerarchica
- Impiego di ripetitori multiporta (HUB)



26

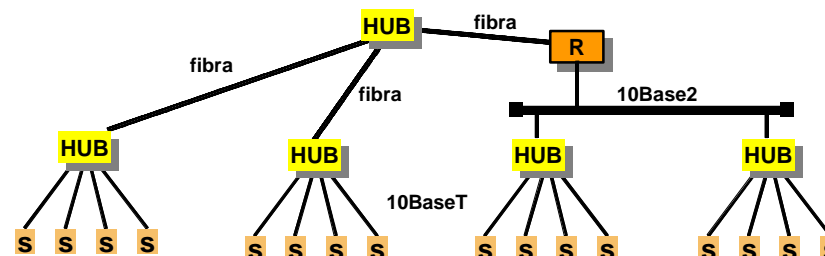
Fibra ottica

- Insensibilità al rumore elettromagnetico
- Mancanza di emissioni
- Bassa attenuazione
- Banda passante molto elevata
- Costo della fibra relativamente basso
- Alto costo per interfacce e connettorizzazioni
- Campi di impiego:
 - alte velocità
 - lunghe distanze di interconnessione
 - ambienti con problemi di compatibilità elettromagnetica

27

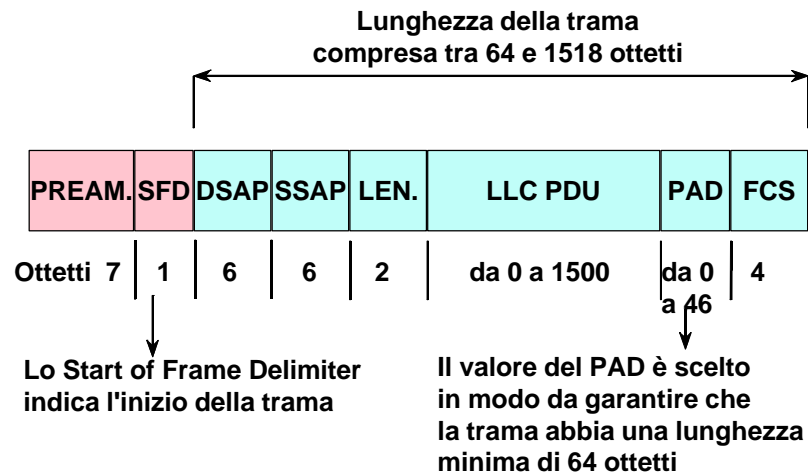
Cablaggio misto (esempio a 10Mb/s)

- Per la distribuzione primaria i cavi a coppie spesso non consentono distanze di connessione sufficienti
 - Impiego di cablaggi misti:
 - coppie simmetriche per la distribuzione orizzontale
 - fibra ottica/coassiale per la distribuzione primaria



28

802.3: Formato della trama



29

Indirizzi MAC

- Gli indirizzi MAC sono stringhe di 48 bit (6 Bytes)

0	8	0	0	2	b	3	c	0	7	9	a
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Assegnato dall'IEEE Assegnato dal costruttore

- L'indirizzo di livello MAC può essere:
 - Individuale (Es. 08-00-20-34-11-30)
 - Di gruppo (Es. 01-00-5e-12-34-56)
 - Broadcast (ff-ff-ff-ff-ff-ff)

30

802.3: Formato della trama (cont.)

- Formato di una MAC PDU (standard IEEE 802.3)
 - preambolo (7 ottetti)
 - delimitatore di inizio trama (1 ottetto)
 - indirizzo di destinazione (2 o 6 ottetti)
 - indirizzo di sorgente (2 o 6 ottetti)
 - lunghezza (2 ottetti)
 - dati di strato LLC
 - PAD
 - FCS (4 ottetti) (CRC)

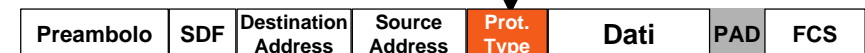
31

IEEE 802.3 / Ethernet

IEEE 802.3



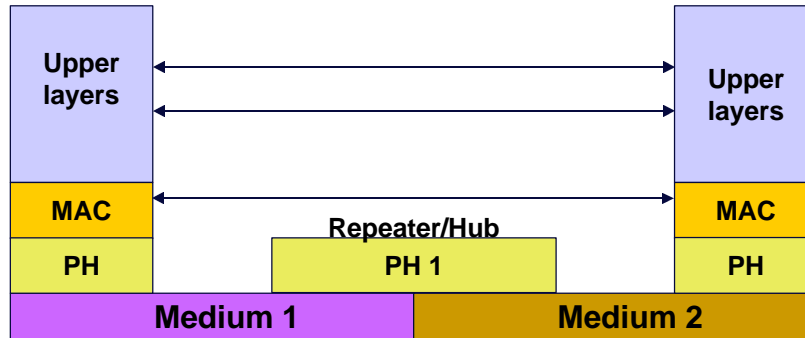
ETHERNET



- Il campo 'Protocol Type' permette di moltiplicare più protocolli direttamente sullo stesso MAC
- e.g. PT=0800 ↔ IP

32

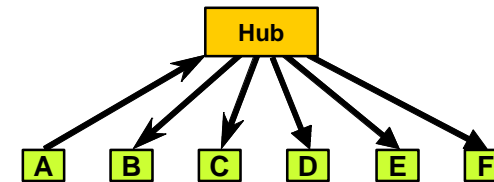
Repeater/Hub



33

Repeater/Hub

- Serve per ripetere e rigenerare una sequenza di bit ricevuti da una porta sulle altre porte
- Assume il nome di:
 - **repeater** quando è costituito da 2 porte
 - **multiport repeater** quando è costituito da più di 2 porte
 - **hub** equivale a multiport repeater per cablaggi a coppie simmetriche con connettori RJ45



34

Repeater/Hub: funzioni

- Un pacchetto ricevuto su una porta va ripetuto su tutte le altre porte (Retiming)
- Se su una porta viene rilevata una collisione deve interrompere la ripetizione del pacchetto su tutte le porte e trasmettere una sequenza di Jamming
 - l'hub deve poter anche rilevare una collisione che avviene al suo interno invece che su un segmento
- In caso di collisioni consecutive deve "partizionare" la porta interessata
 - rilevamento di guasti/malfunzionamenti

35

Ethernet a 100 Mb/s (IEEE 802.3u)

- 802.3u detto anche 100BASE-T o Fast-Ethernet
- Stesso protocollo CSMA/CD dello standard originale a 10Mb/s
- Velocità dieci volte superiore rispetto al 10 Mb/s
 - 100 Mb/s
 - bit time 10 ns
 - slot time 512 bit (5.12 μs)
- Distanze dieci volte inferiori
 - Stessa lunghezza del pacchetto
 - 'Round trip delay' ridotto di 10 volte
 - dimensioni max. della rete ridotte di 10 volte
 - stazioni connesse a max. 100 mt dall'HUB
- Compatibilità a livello di scheda con 10BaseT
- Tre sotto-standard per tre tipi di mezzi fisici:
 - 100BASE-T4 (doppino, su 4 coppie)
 - 100BASE-TX (doppino, su 2 coppie)
 - 100BASE-FX (fibra ottica)

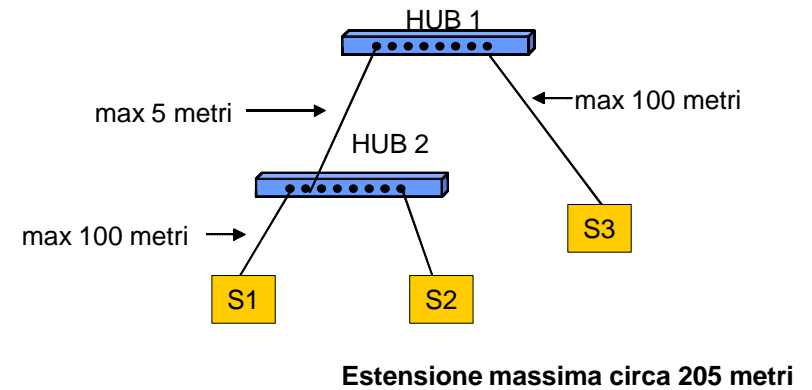
36

IEEE802.3u: 100Base-TX e 100Base-FX

- 100BASE-TX utilizza con pochissime modifiche lo standard TP-PMD per FDDI:
 - Codifica 4B/5B
 - Scrambling
 - Codifica MLT-3
- 100BASE-FX utilizza con pochissime modifiche lo standard PMD per FDDI su fibra ottica multimodale (ISO 9314-3)
 - Codifica 4B/5B
 - Scrambling
 - Codifica NRZI

37

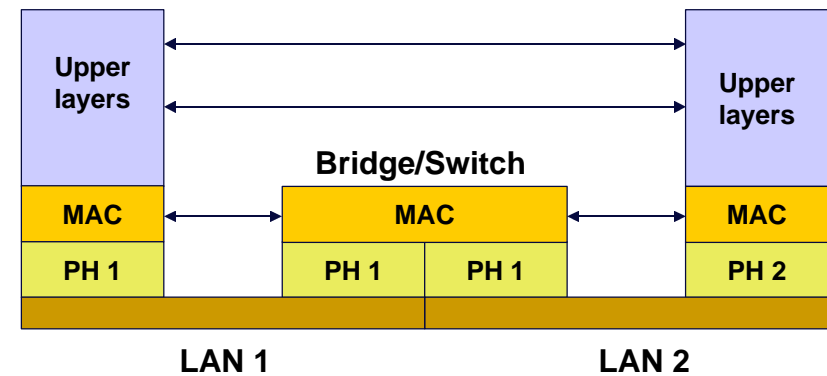
Ethernet 100BaseT o Fast Ethernet



38

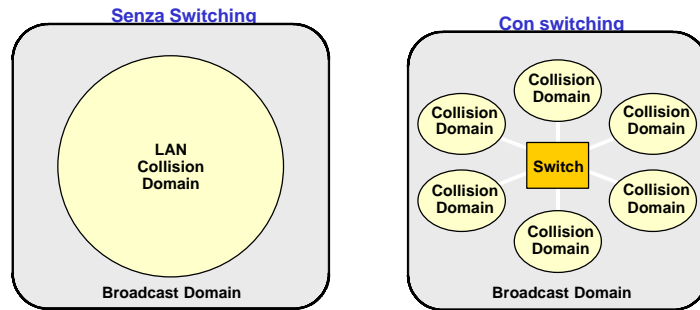
Bridging/Switching

Interconnessione di LAN tramite Bridge/Switch



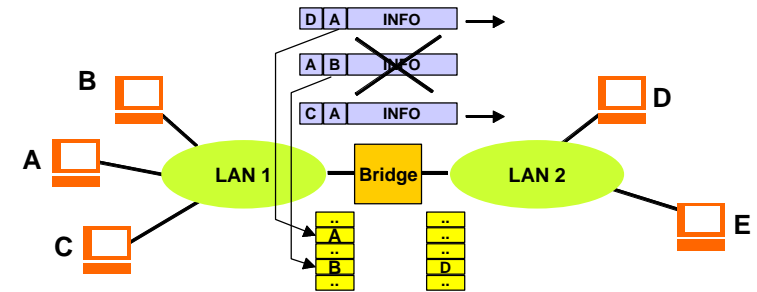
40

Interconnessione di LAN tramite Bridge/Switch



41

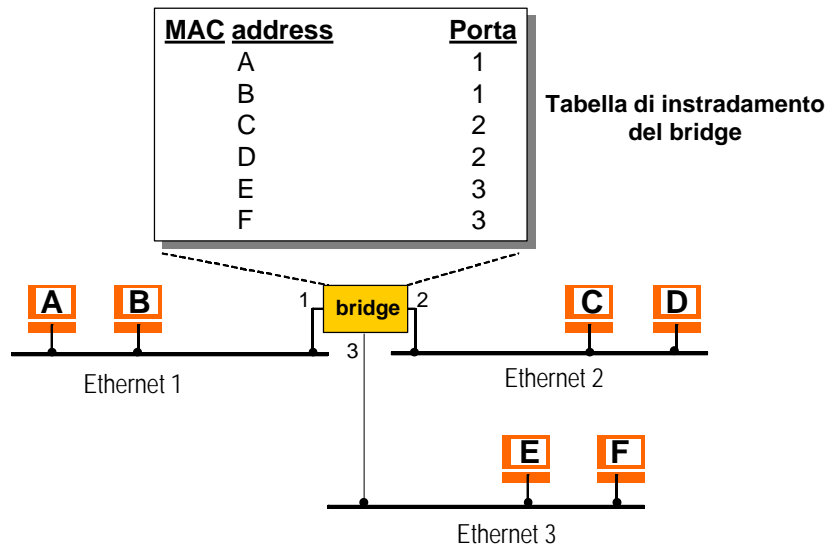
Interconnessione di LAN tramite Bridge/Switch



- I bridge non sono indirizzati esplicitamente
- Fanno transitare solo le trame non indirizzate a nodi già conosciuti e connessi sulla LAN di origine (filtraggio)
- 'Apprendono' la struttura di rete osservando il campo 'Source Address' delle trame ricevute (learning)

42

Tabella di instradamento



43

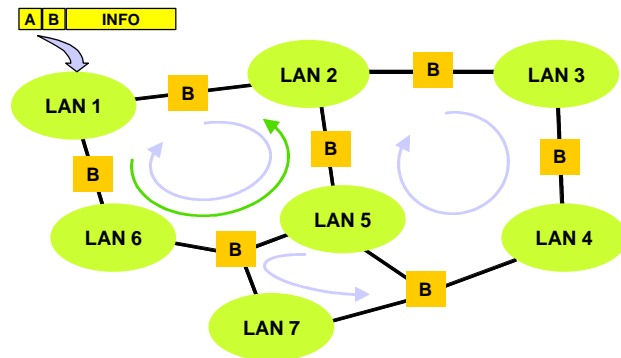
Tabella di instradamento (cont.)

- Le tabelle di instradamento normalmente sono calcolate tramite apprendimento dinamico
 - **backward learning**
 - aggiornamento delle tabelle in base agli indirizzi di sorgente presenti nelle trame ricevute
- Il backward learning
 - funziona solo su reti con topologia ad albero
- La rete magliata deve essere trasformata in albero
 - algoritmo/protocollo di spanning-tree (IEEE 802.1D)
 - instradamenti non ottimali

44

Interconnessione di LAN tramite Bridge/Switch

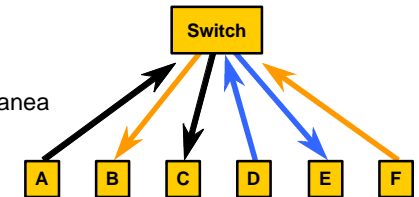
- L'algoritmo di spanning tree
 - opera periodicamente
 - decide quali porte porre in stato di forwarding e quali in stato di blocking



45

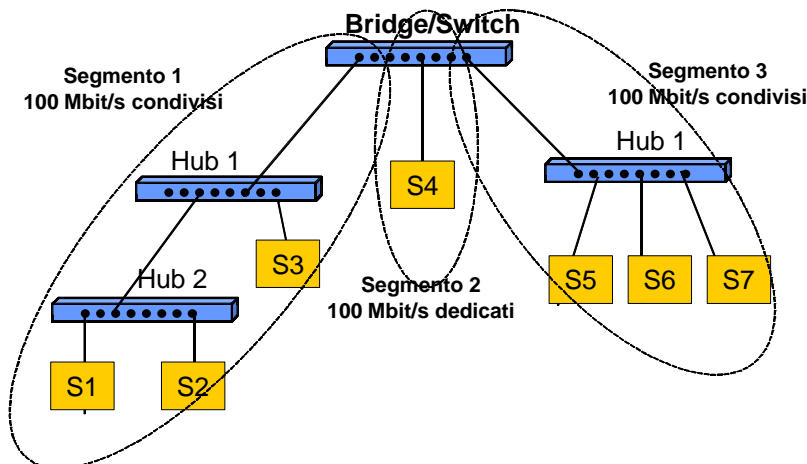
Bridge/Switch

- I Bridge nascono per sezionare le LAN in differenti domini di collisione
 - per ragioni di traffico
 - traffico locale confinato su ciascun segmento
 - per ragioni di distanze fisiche
- Gli switch si comportano come i Bridge e nascono come apparati centro-stella in sostituzione degli Hub
 - traffico tra coppie di stazioni confinato su coppie di rami
 - banda aggregata molto superiore a quella della singola porta
 - molte trasmissioni in contemporanea tra segmenti



46

Estensione della LAN tramite dispositivi Bridge/Switch



47

Bridge/Switch

- Vantaggi
 - isolano il traffico aumentando la capacità trasmissiva totale e la sicurezza
 - Si configurano automaticamente
 - Permettono riconfigurazioni automatiche della rete in caso di guasti
- Svantaggi
 - Non adatti alla gestione di reti complesse
 - Non filtrano i pacchetti 'broadcast'
 - Non permettono il bilanciamento del traffico su link in parallelo o in generale su più percorsi

48

Ethernet Full-Duplex (1/2)

- Le LAN sono storicamente Half-duplex:
 - **una sola stazione trasmette in un certo istante di tempo (mezzo trasmissivo condiviso)**
- Le connessioni tra due switch o tra switch e stazione Ethernet sono dedicate:
 - **il mezzo trasmissivo diventa punto-punto**
- Il mezzo trasmissivo punto-punto può essere Full-duplex:
 - **entrambe le stazioni possono trasmettere contemporaneamente**
 - **le trasmissioni avvengono su canali fisici diversi**
 - due coppie separate del cavetto in rame
 - due fibre ottiche
 - **raddoppia la banda disponibile**
- Poichè nella modalità full-duplex non viene utilizzato il protocollo CSMA-CD, la lunghezza di un link full-duplex
 - **dipende solo dalle caratteristiche del mezzo trasmissivo**
 - **è indipendente dal diametro del dominio di collisione**

49

Ethernet Full-Duplex (2/2)

- In modalità Full-duplex i transceiver non rilevano la collisione:
 - **i transceivers normali inviano un segnale di collisione all'interfaccia quando si ha la presenza di attività contemporanea su TX e RX**
- Per utilizzare Ethernet in modalità full-duplex:
 - **connessione diretta tra due dispositivi "attivi" (link punto-punto)**
 - connessione tra due switch
 - connessione stazione-switch o router-switch
 - connessione tra due stazioni
 - **il mezzo trasmissivo deve supportare trasmissioni full-duplex (twisted pair o fibra ottica)**
 - **le schede di rete deve essere in grado di operare in full-duplex**
 - nei transceiver deve essere disabilitata la rilevazione di collisioni

50

Gigabit Ethernet

- Come lo standard IEEE 802.3u, rappresenta una evoluzione di Ethernet
- Gigabit Ethernet offre i vantaggi tipici di Ethernet:
 - **semplicità del metodo di accesso CSMA/CD**
 - **alta scalabilità tra le diverse velocità di trasmissione**
- Permette di velocizzare le moltissime LAN Ethernet già esistenti con costi contenuti tramite:
 - **sostituzione degli apparati di rete (hub, switch, schede, etc.)**

51

Gigabit Ethernet

- Formato e dimensione del pacchetto uguali a Ethernet 10/100Mb/s (IEEE 802.3)
- Fornisce una banda di 1 Gb/s
- Supporta le seguenti modalità operative:
 - **Half-Duplex**
 - CSMA/CD
 - in pratica NON è implementato
 - **Full-Duplex (con controllo di flusso)**
 - senza collisioni
 - non ci sono limiti al diametro della rete dovuti al protocollo di accesso
 - è la modalità di Gigabit Ethernet effettivamente implementata

52

Distanze massime consentite

	Mezzo trasmissivo	Distanze
1000BASE-SX	MMF 50/125 μm	da 2 a 550 m
	MMF 62.5/125 μm	da 2 a 300 m
1000BASE-LX	MMF 50/125 μm	da 2 a 550 m
	MMF 62.5/125 μm	da 2 a 550 m
	SMF 9/125 μm	da 2 a 3 Km
1000BASE-CX	STP 150 Ω	25 m massimi
1000BASE-TX	UTP 100 Ω cat. 5	100 m massimi

MMF = Multi Mode Fiber **Nota:** Fibra 62.5/125 conforme alle spec. ISO/IEC 11801
SMF = Single Mode Fiber Fibra 50/125 con 500 MHz * Km a 850 e 1300 nm

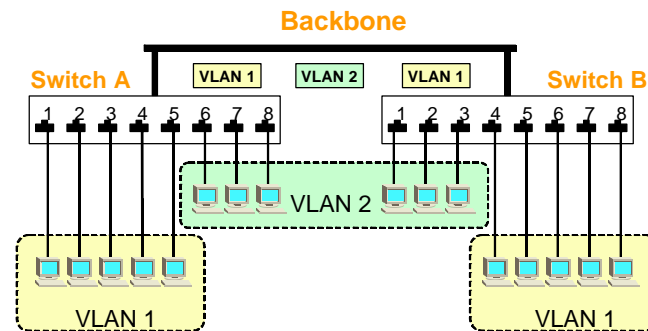
53

LAN virtuali (VLAN)

- Le LAN estese, quando crescono troppo di dimensione, sono fonte di problemi:
 - elevato traffico di multicast/broadcast
 - routing tra le sottoreti IP
 - sicurezza
- Si introduce il concetto di LAN virtuali:
 - unica infrastruttura fisica
 - definizione di più sottoreti logiche separate tramite opportune configurazione degli Switch (domini Ethernet differenti)
- Vantaggi
 - limitazione del traffico di broadcast e di multicast in modo da non impegnare banda trasmissiva e capacità elaborativa di un numero elevato di stazioni ed apparati
 - aumentare il livello di sicurezza limitando l'accesso a porzioni della rete fisica
 - allo stesso tempo, gestione dinamica di un'unica rete fisica

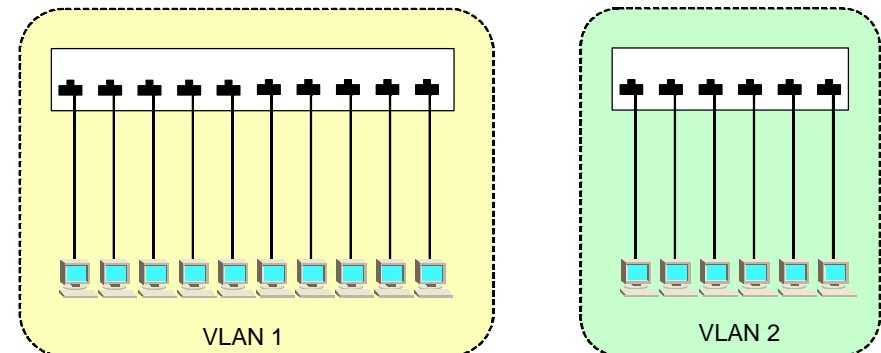
54

VLAN



55

VLAN: layout logico equivalente



56