



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

## Reti in Area Locale (LAN)

Luca Veltri

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

Corso di Reti di Telecomunicazioni A, a.a. 2004/2005

<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

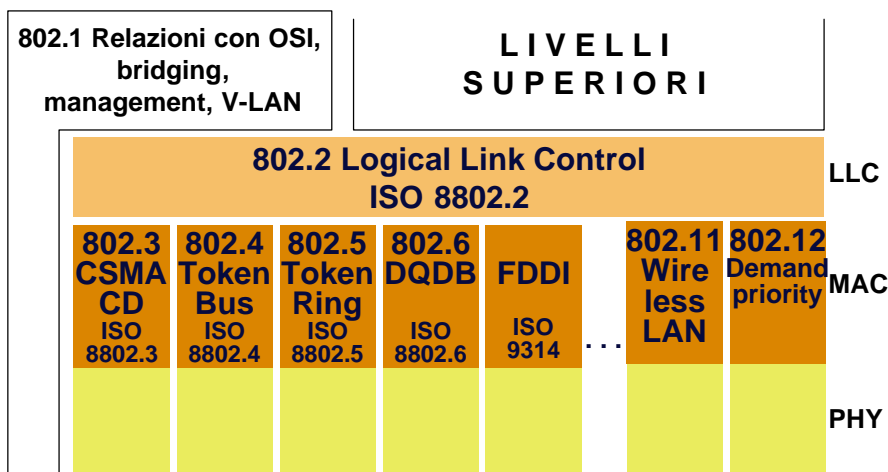
2



Università degli Studi di Parma  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

LAN

## Il modello IEEE 802



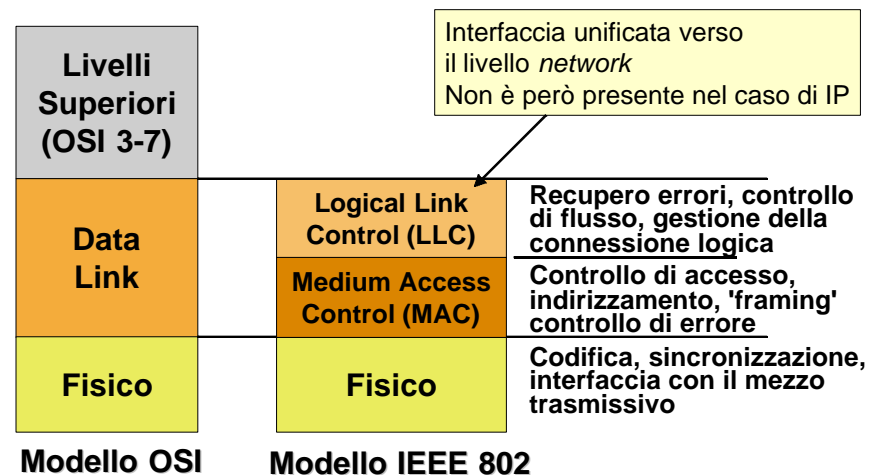
3



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 rappresenta il tempo necessario per assicurare che tutte le stazioni siano in grado di rivelare una avvenuta collisione)
- Obiettivo strati PH e MAC Etherent: (funzioni implementate)
  - trasferimento UI su mezzo condiviso (funzione MAC)
  - indirizzamento S-SAP e D\_SAP (tramite indirizzi dei nodi sorgente e destinazione + ID protocollo strato superiore)
  - controllo di errore (non recupero)

7

### IEEE 802.3: Livello MAC

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

8

## Protocollo CSMA/CD (1)

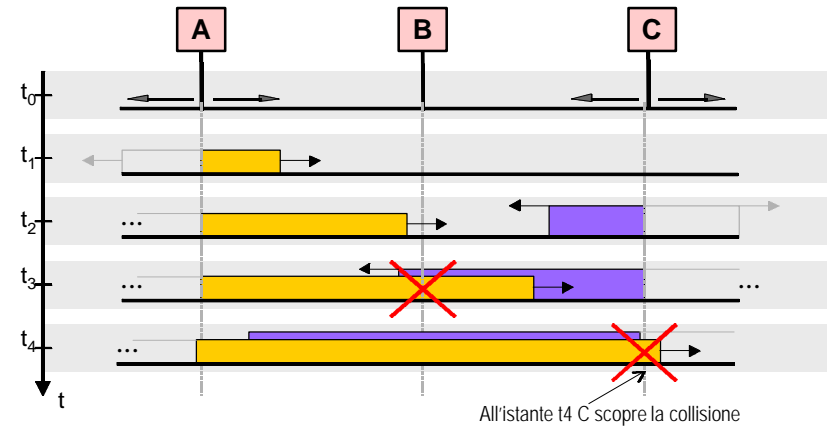
- CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
- E' usato nella topologia a bus bidirezionale
- Procedura di accesso al mezzo (CSMA):
  - Una stazione prima di tentare la trasmissione verifica lo stato del mezzo (**Carrier Sensing**)
  - Se il mezzo è occupato si ritarda l'emissione 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 riemessa la PDU andata in collisione
  - l'accesso viene tentato nuovamente dopo un intervallo di tempo  $\Delta T$  deciso dall'algoritmo di subentro
  - Per ridurre l'aumento di traffico per ritrasmissioni il valore di  $\Delta T$  aumenta **esponenzialmente** all'aumentare del numero di collisioni consecutive verificatesi

11

## Back-off esponenziale

- Algoritmo che controlla le ritrasmissioni in caso di collisioni
- Parametri:
  - $\tau$  = 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

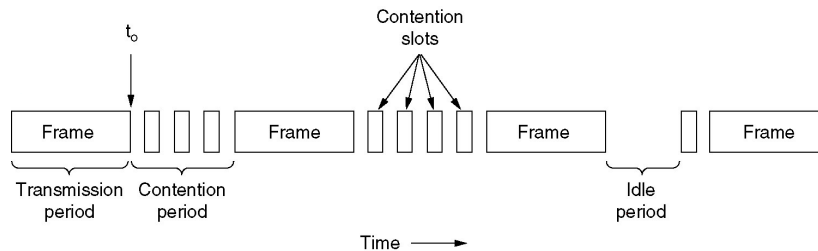
$$0 \leq r < 2^k \quad k = \min(n, 10)$$

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  $2T_p$ , dove  $T_p$  è il ritardo di propagazione da estremo a estremo sul bus
- Per definizione, lo strato MAC Ethernet NON deve terminare l'emissione completa di una trama prima che sia certo lo stato di NON collisione
- Quindi, se  $R_c$  è il ritmo binario di linea, una PDU di strato MAC Ethernet non può avere lunghezza (in bit) inferiore a

$$L_{\min} = 2T_p R_c$$

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

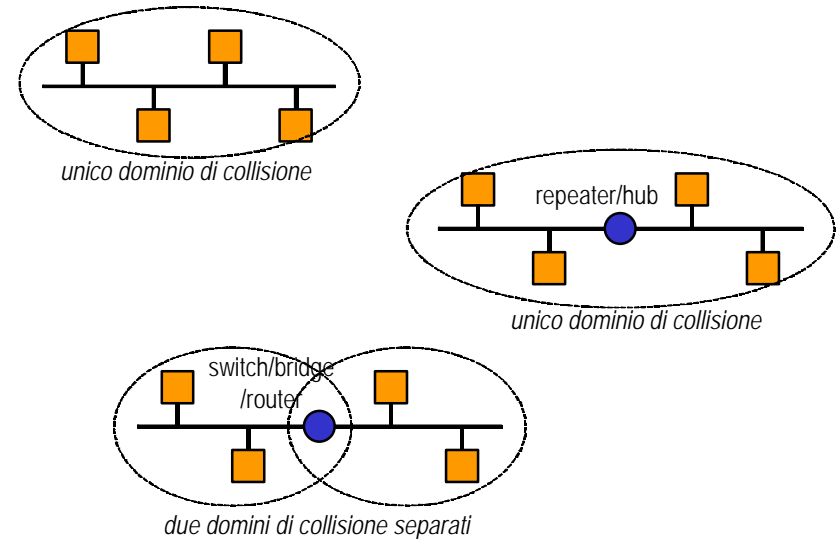
16

## 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

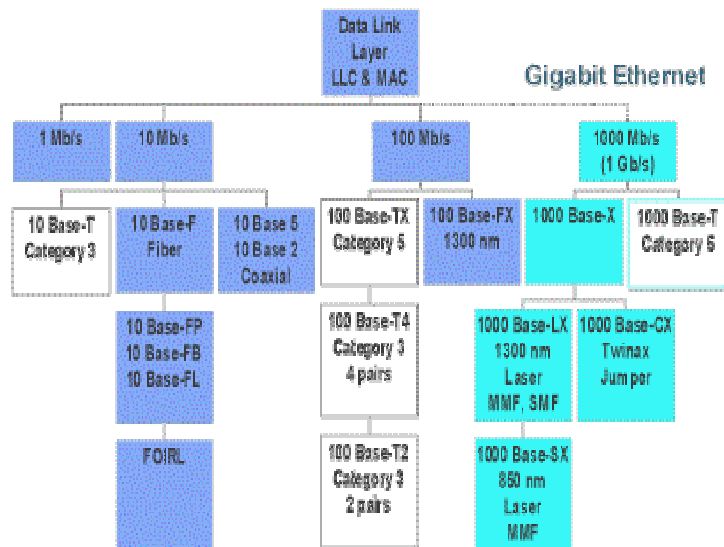
17

## Dominio di collisione



18

## 802.3: Standard di livello fisico



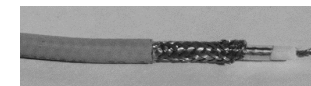
19

## 802.3 di livello fisico: Coassiale

- Tipicamente usato per reti a BUS
- Dominante sino al '90
- Buon rapporto S/N
- Usato solo nelle versioni di Ethernet a 10Mb/s
- Principali tipi:
  - Cavo grosso (Thick-RG213)



- Cavo sottile (Thin-RG58)

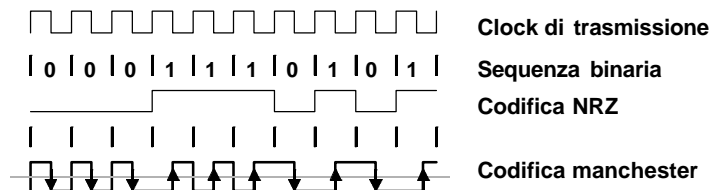


20

## 802.3 di livello fisico: Coassiale

- Physical Signaling
  - Codifica manchester

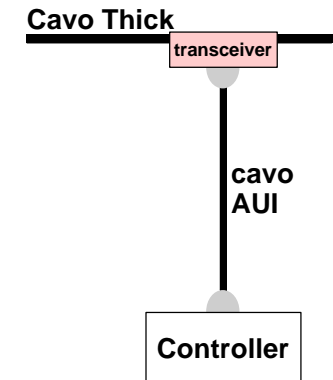
- Se 0 trasmetto il clock, se 1 il clock invertito (0=transizione basso/alto, 1=transizione alto/basso)
- Caso peggiore è 000... oppure 111...
- ottenuta come XOR tra la codifica NRZ ed il clock
- garantisce almeno una transizione per ogni bit
- ha valore medio costante (utile per rilevare le collisioni)



21

## Cavo Coassiale 'Thick': 10Base5

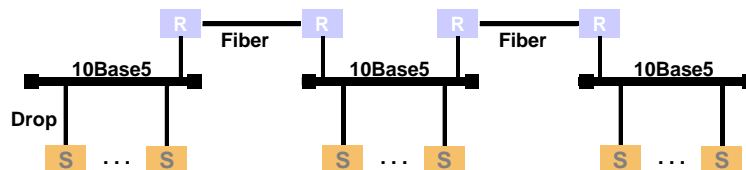
- Cavo grosso (Thick)
  - buone prestazioni (banda passante, attenuazione)
  - costo abbastanza elevato
  - alto costo di posa
  - necessità di transceiver esterno e di cavo 'drop' (AUI)
  - maggiore affidabilità (il cavo normalmente non è accessibile all'utente)



22

## Cablaggio in cavo Thick (10Base5)

- Esempio di configurazione 10Base5



23

## Cavo Coassiale 'Thin': 10Base2

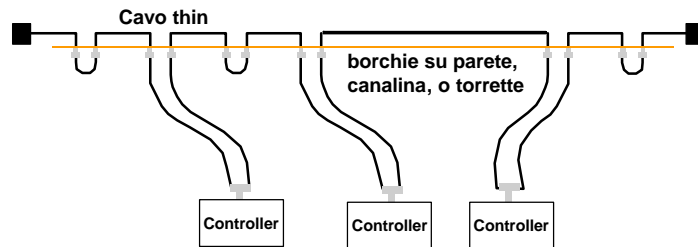
- Cavo sottile (Thin)
  - maggiore attenuazione
  - costo inferiore
  - maggiore facilità e minor costo di posa
  - impiego di transceiver 'a bordo'
  - scarsa affidabilità (il cavo è accessibile all'utente)



24

## Cablaggio in cavo Thin (10Base2)

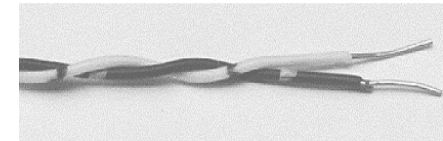
- Lunghezza massima del cavo 185 m
- Numero massimo di stazioni 30
- Distanza minima tra le stazioni 0.5 m
- Transceiver connessi:
  - tagliando il cavo
  - "crimpando" i connettori
  - connettendo i due spezzoni con un T



25

## 802.3 di livello fisico: Coppia simmetrica (Twisted Pair) 10 Base T e 100 Base T

- 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
- Link punto-punto:
  - richiede l'adozione di repeater per collegare le stazioni
  - la connessione tra repeater e stazione è fatta usando due doppini (due coppie):
    - TX stazione - RX repeater
    - RX stazione - TX repeater
- Usato con cavetti a 4 coppie



26

## Coppia simmetrica (Twisted Pair)

- Cavo UTP 100  $\Omega$
- Lunghezza massima consigliata 100 m
  - 90 m di cablaggio strutturato
  - 10 m di cavetti di patch
- Prestazioni inferiori al cavo coassiale (su lunghe distanti)
- Utilizzabili anche per bit rate elevati (>100 Mbit/s) su brevi distanze (~100 m)
- Basso costo e facilità di posa
- Facilità di connessione (connettori RJ45)
- Adatto a cablaggi strutturati
- Enorme diffusione dal '90

27

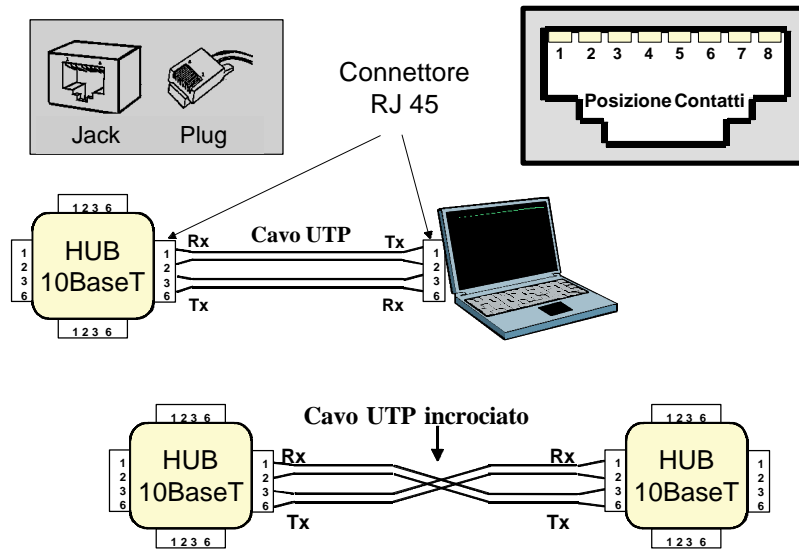
## Coppia simmetrica (Twisted Pair)

- Varianti
  - UTP (Unshielded): non schermato
  - STP (Shielded): schermato coppia per coppia
  - FTP (Foiled): uno solo schermo per tutto il cavetto
- 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



28

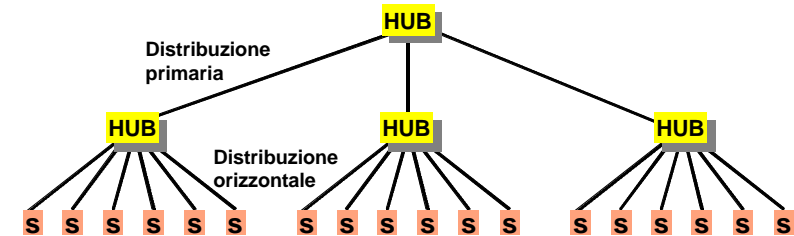
## Connettori per Base-T



29

## Cablaggio in Coppia Simmetrica

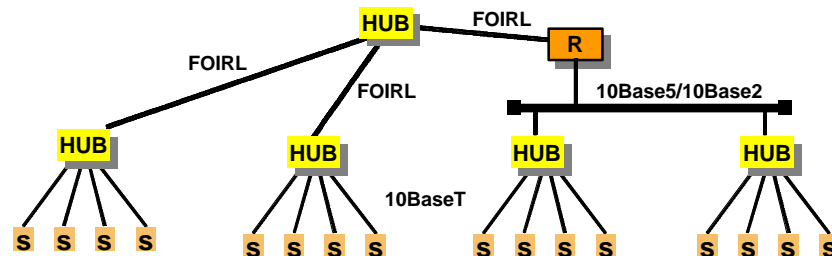
- Topologia stellare gerarchica
- Impiego di ripetitori multiporta (HUB)



30

## Cablaggio misto (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



31

## 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

32

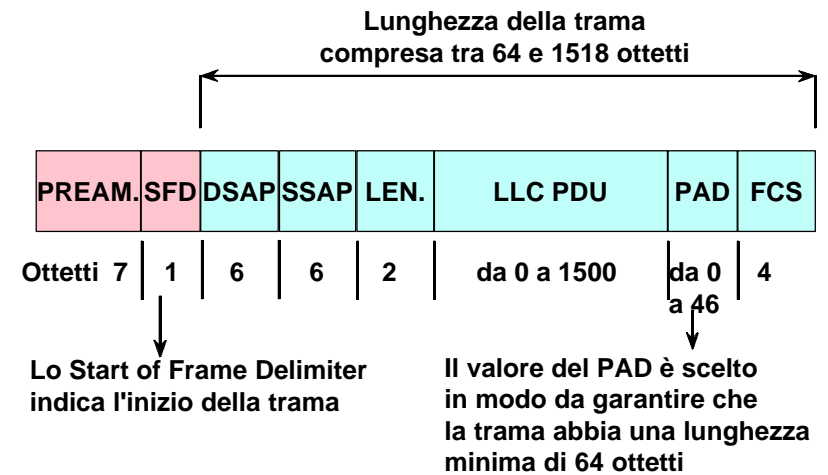


## Fibra ottica

- Fibre multimodali
  - prestazioni inferiori
  - costo più alto
  - interfacce relativamente poco costose
- Fibre monomodali
  - prestazioni più elevate
  - costo della fibra più basso
  - interfacce più costose
  - maggiori difficoltà di connettorizzazione



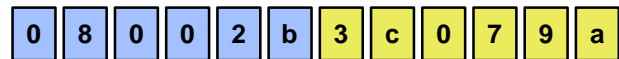
## 802.3: Formato della trama



34

## Indirizzi MAC

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



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)

35

## Indirizzi MAC

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



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)



## 802.3: Formato della trama (2)

- 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)

37

## IEEE 802.3 / Ethernet

### IEEE 802.3



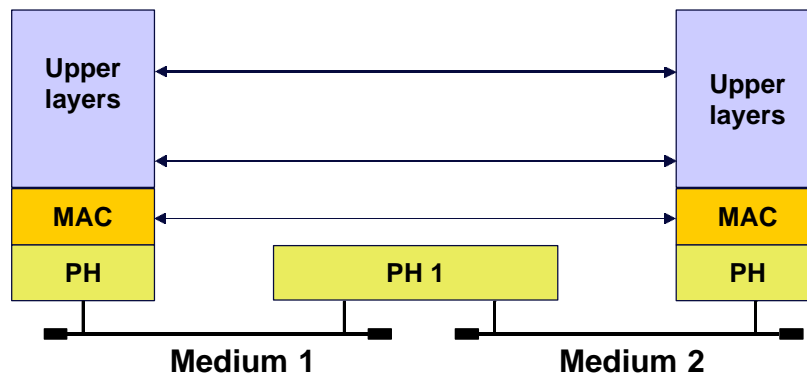
### ETHERNET



- Il campo 'Protocol Type' permette di moltiplicare più architetture di protocolli sullo stesso MAC. Es.:
  - 0600 XNS
  - 0800 IP
  - 6000 - 6009 DEC

38

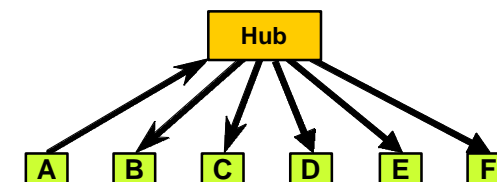
## Repeater



39

## Repeater e 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



40

## Hub/repeater: 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

41

## Ethernet a 100 Mb/s (IEEE 802.3u)

- 802.3u detto anche 100BASE-T o Fast-Ethernet
- Stesso protocollo CSMA/CD dell'802.3
- Velocità dieci volte superiore rispetto al 10 Mb/s
  - 100 Mb/s
  - bit time 10 ns
  - slot time 512 bit (5.12  $\mu$ s)
- 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)

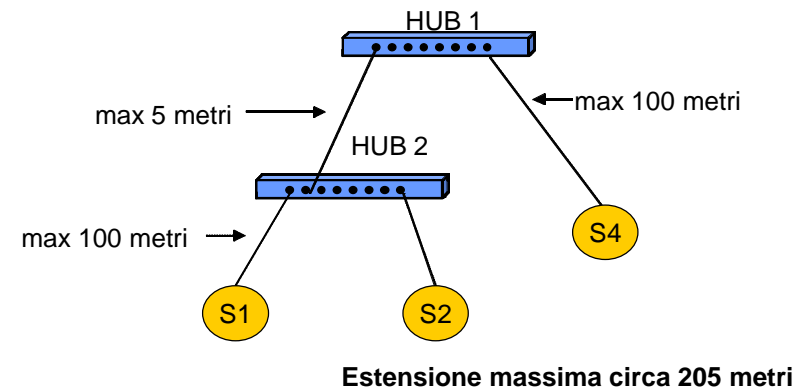
42

## 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

43

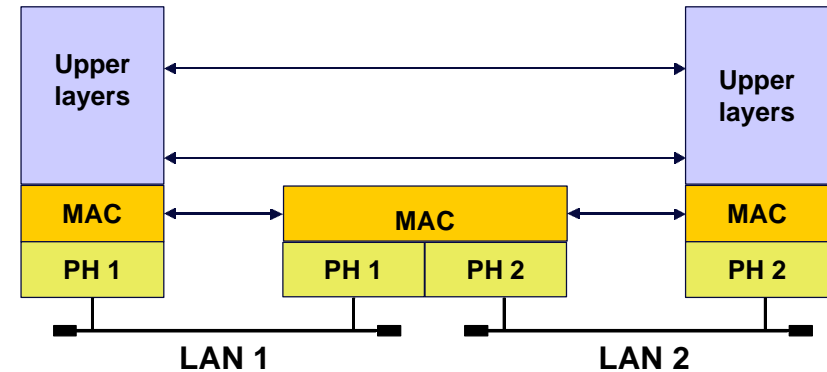
## Ethernet 100BaseT o Fast Ethernet



44

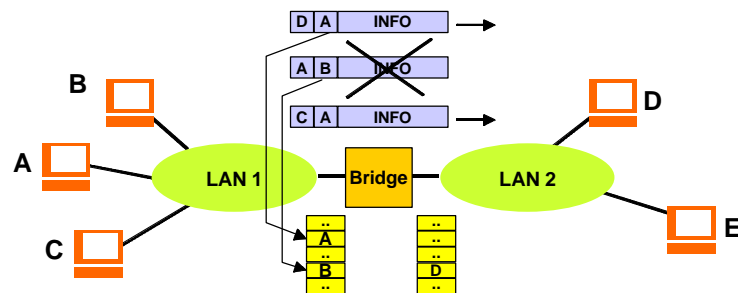
## Bridging

## Interconnessione di LAN tramite Bridge



46

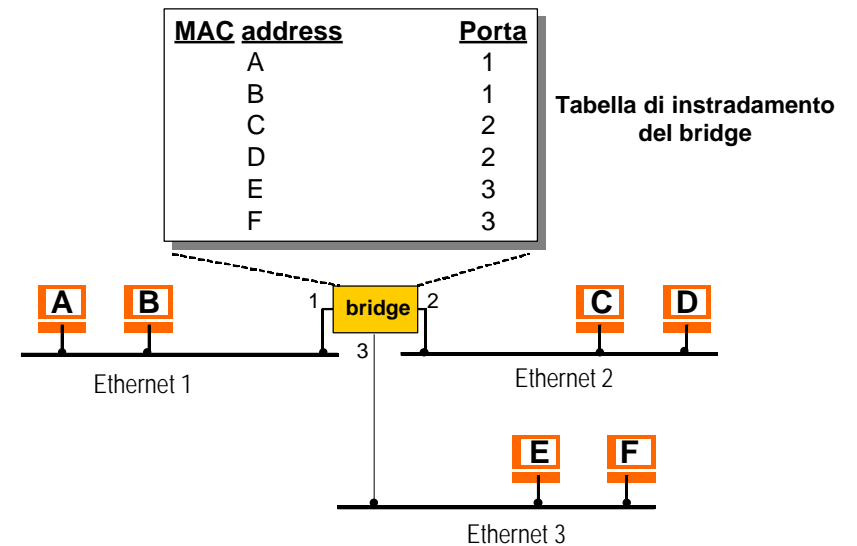
## Interconnessione di LAN tramite Bridge



- 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)

47

## Tabella di instradamento (1)



48

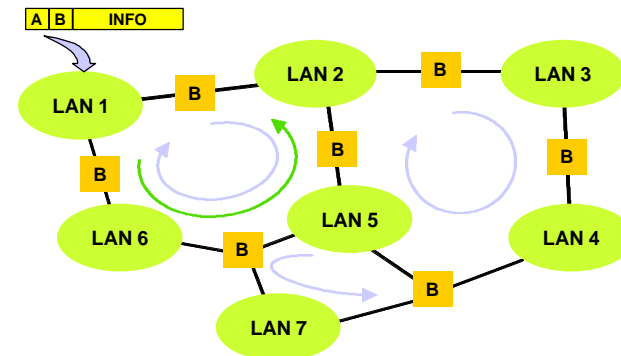
## Tabella di instradamento (2)

- 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

49

## Interconnessione di LAN tramite Bridge

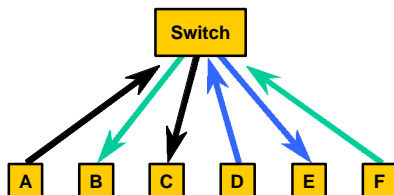
- L'algoritmo di spanning tree
  - opera periodicamente
  - decide quali porte porre in stato di forwarding e quali in stato di blocking



50

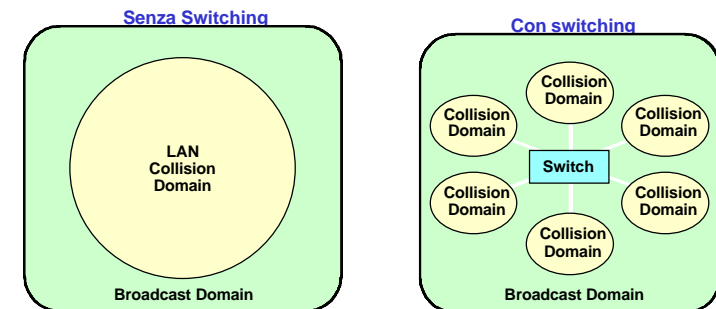
## Switch

- Si comportano come bridge multiport
- Si sostituiscono agli hub nel centro stella
- Hanno una banda aggregata molto superiore a quella della singola porta
  - Molte trasmissioni in contemporanea tra segmenti
  - Traffico locale confinato su ciascun segmento



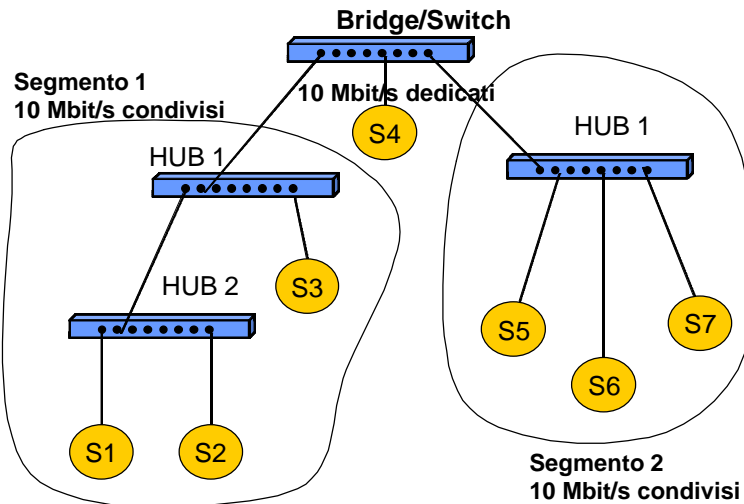
51

## Switch



52

## Estensione della LAN tramite dispositivi Bridge/Switch



53

## 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

54

## 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

55

## 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

56

## Gigabit Ethernet

- Come lo standard IEEE 802.3u, rappresenta una evoluzione di 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.)

58

## Gigabit Ethernet

- Formato e dimensione del pacchetto uguali a Ethernet (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

59

## Distanze massime consentite

|                    | Mezzo trasmissivo   | Distanze                                    |
|--------------------|---|---|
| <b>1000BASE-SX</b> | MMF 50/125 $\mu\text{m}$<br>MMF 62.5/125 $\mu\text{m}$                            | da 2 a 550 m<br>da 2 a 300 m                |
| <b>1000BASE-LX</b> | MMF 50/125 $\mu\text{m}$<br>MMF 62.5/125 $\mu\text{m}$<br>SMF 9/125 $\mu\text{m}$ | da 2 a 550 m<br>da 2 a 550 m<br>da 2 a 3 Km |
| <b>1000BASE-CX</b> | STP 150 $\Omega$  | 25 m massimi                                |
| <b>1000BASE-TX</b> | UTP 100 $\Omega$ cat. 5   | 100 m massimi                               |

MMF = Multi Mode Fiber

SMF = Single Mode Fiber

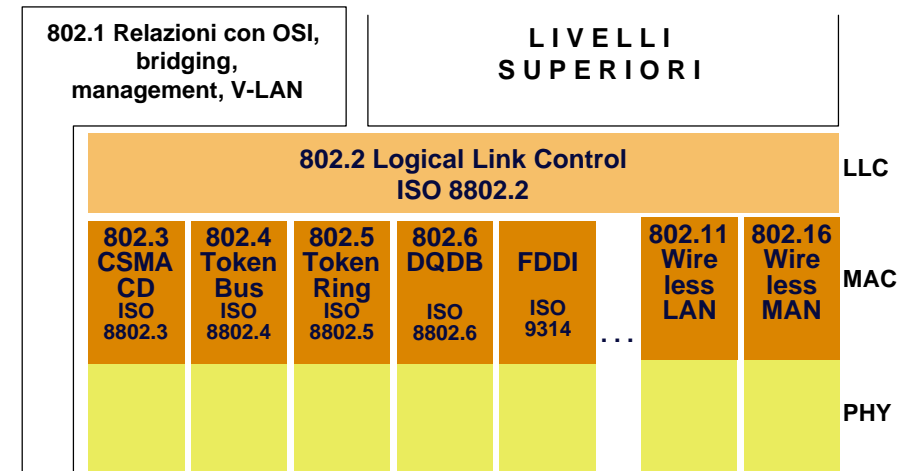
**Nota:** Fibra 62.5/125 conforme alle spec. ISO/IEC 11801

Fibra 50/125 con 500 MHz \* Km a 850 e 1300 nm

60

## Logical Link Control (LLC)

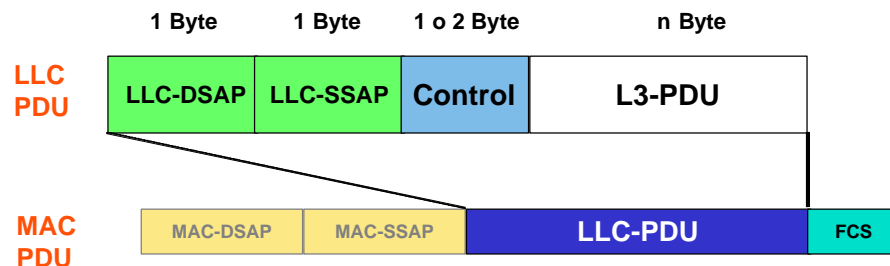
### Il modello di riferimento IEEE 802



62

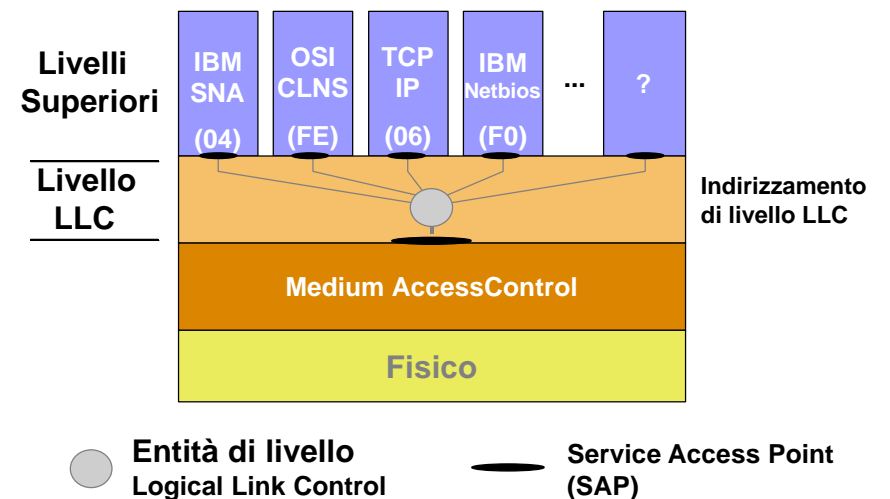
### Strato LLC (Logical Link Control)

- Il protocollo LLC è definito per essere utilizzato in qualsiasi tipo di LAN
- Funzioni dello strato LLC:
  - scambio delle unità informative tra le stazioni di una LAN
  - gestione del flusso delle LLC PDU
  - rivelazione e recupero degli errori



63

### Indirizzamento LLC



64