



Protocolli PH e DL nelle LAN

Luca Veltri

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

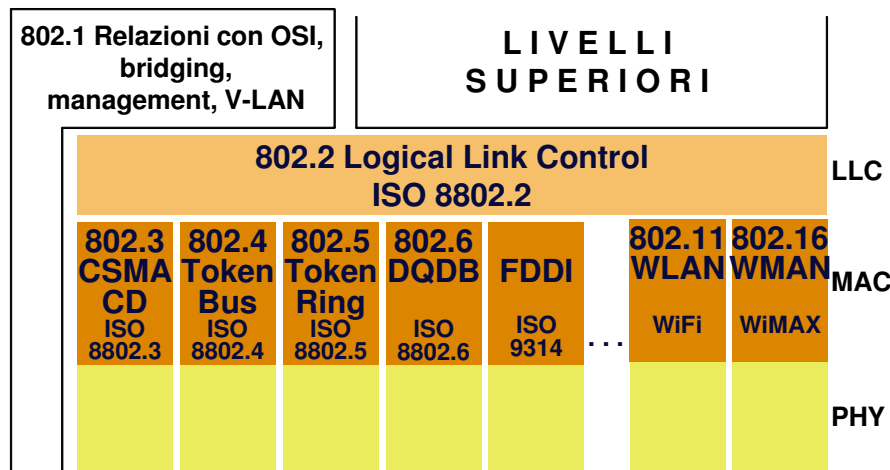
Corso di Reti di Telecomunicazioni A, a.a. 2011/2012

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

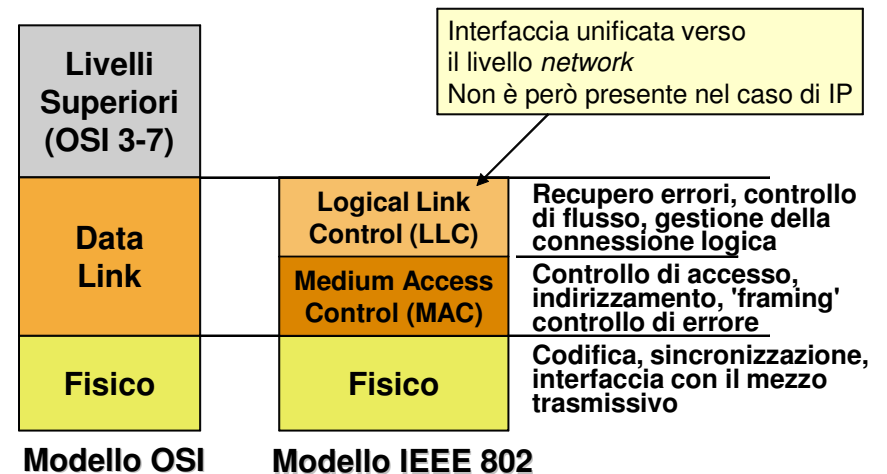
Reti in area locale (LAN)

- Una LAN è un sistema di comunicazione che permette di interconnettere apparecchiature indipendenti in un'area limitata
- Sono spesso caratterizzate da
 - Estensione geografica limitata (edificio, gruppo di edifici)
 - Velocità trasmissiva elevata
 - Basso tasso di errore
 - 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

Il modello IEEE 802



IEEE 802 vs OSI



Standard IEEE 802.3 (Ethernet)

Ethernet: Storia

- Il protocollo Ethernet è uno degli standard per reti in area locale più diffuso e implementato 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

Ethernet: Caratteristiche principali

- La topologia logica di una rete Ethernet (cioè 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
- Utilizza un protocollo di accesso al mezzo denominato CSMA/CD
- Dimensione minima di un pacchetto 64 byte (tale valore corrisponde al tempo necessario per assicurare che tutte le stazioni siano in grado di rivelare una avvenuta collisione)

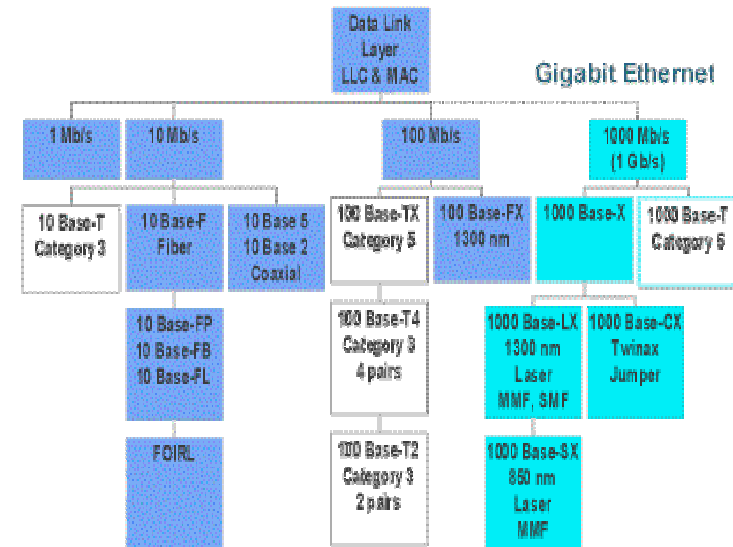
7

Ethernet: Funzioni implementate

- Obiettivi degli strati PH e MAC Etherent e relative funzioni:
 - **invio di UI a datagramma tra stazioni terminali, con o senza nodi intermedi**
 - funzione di invio/ricezione, routing
 - **utilizzo di un mezzo broadcast condiviso**
 - funzione MAC
 - **indirizzamento dei nodi (stazioni) sorgente e destinazione, identificando anche il protocollo utente (di strato superiore)**
 - funzione di indirizzamento, tramite indirizzi dei SSAP e DSAP
 - **rivelazione di errore e scarto delle UI errate (non recupero)**
 - funzione di controllo di errore

8

802.3: Standard di livello fisico

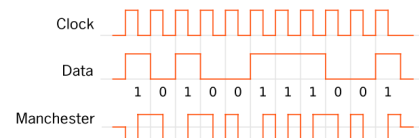


10

IEEE 802.3 - Strato PH

IEEE 802.3 di livello fisico: Coassiale

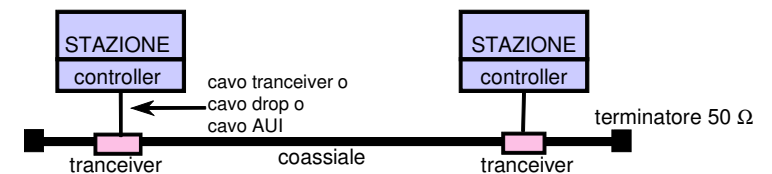
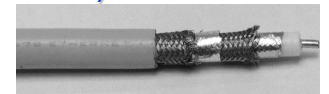
- IEEE 802.3 (Ethernet) 10Base5 e 10Base2
 - dominante sino al '90, usato solo in Ethernet a 10Mb/s
- Topologia base di strato fisico: BUS
 - tutte le stazioni collegate direttamente ad un unico bus (coassiale)
 - il bus e le stazioni collegate formano un singolo segmento di rete
 - non sono necessari nodi intermedi
- Opzionalmente, più segmenti di rete possono essere interconnessi tramite nodi intermedi di livello PH (repeater)
 - si ottiene così una topologia ad ALBERO
 - con instradamento broadcast
- Codifica utilizzata: Manchester
- Tipi di cavi coassiali usati:
 - Cavo grosso (Thick-RG213)
 - Cavo sottile (Thin-RG58)



11

Coassiale Thick (10Base5)

- Cavo coassiale grosso (Thick-RG213)
 - unico cavo coassiale 50 Ω, senza giunture
 - stazioni collegate tramite dispositivi detti "transceiver"
 - transceiver connessi direttamente al coassiale con prese "a vampiro"
 - min distanza tra i transceiver: 2.5 m
 - max lunghezza del singolo segmento: 500m
 - max numero di transceiver su singolo segmento: 100

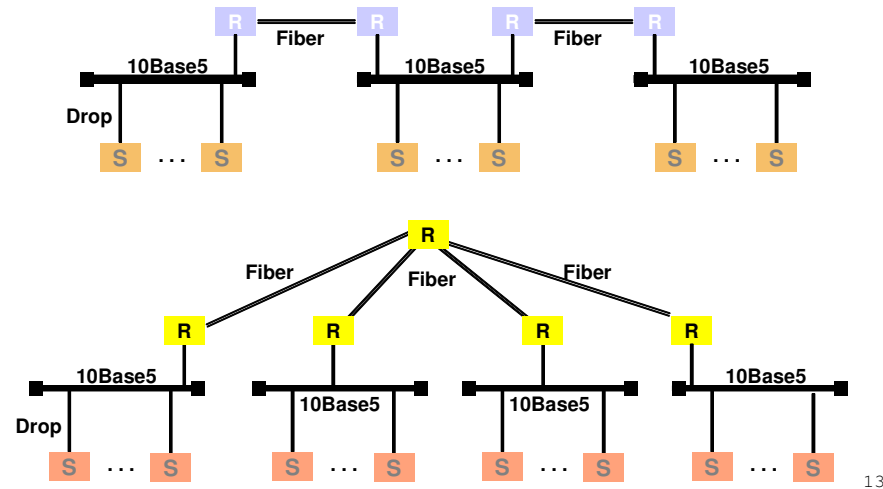


- Eventualmente, utilizzo di ripetitori per interconnettere più segmenti

12

Coassiale Thick (10Base5) (cont.)

- Esempi di configurazione 10Base5

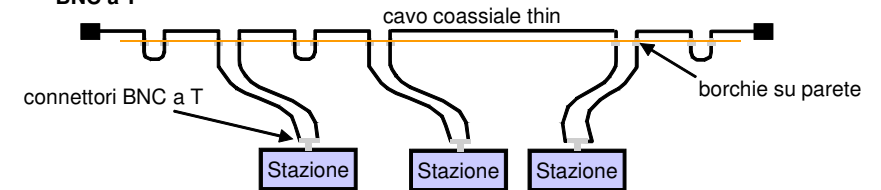


13

Coassiale Thin (10Base2)

- Cavo coassiale sottile (Thin-RG58)

- più spezzoni di coassiale interconnessi tramite connettori BNC "crimpati" al cavo
- max lunghezza del cavo (maggiore attenuazione): 185 m
- max numero di stazioni: 30
- min distanza tra le stazioni: 0.5 m
- schede di rete in genere connesse direttamente al cavo, tramite connettori BNC a T



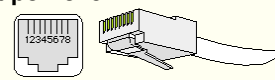
- Altre caratteristiche

- costo inferiore del cavo
- maggiore facilità e minor costo di posa
- scarsa affidabilità (il cavo è accessibile all'utente)

14

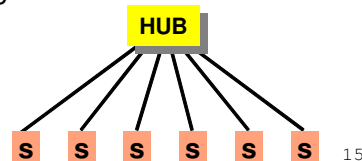
IEEE 802.3 di livello fisico: Coppia simmetrica (Twisted Pair)

- IEEE 802.3 (Ethernet) 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
 - utilizzo di connettori di tipo RJ45



- Realizza solo collegamenti punto-punto

- richiede l'adozione di apparati di rete per collegare più stazioni
 - a livello PH: ripetitori multiporta (hub)
 - a livello DL: switch
- topologia di strato PH a STELLA



15

Coppia simmetrica (cont.)

- Caratteristiche:

- lunghezza massima consigliata 100 m
 - 90 m di cablaggio strutturato
 - 10 m di cavetti di patch
- prestazioni inferiori al cavo coassiale (su lunghe distanze)
- basso costo e facilità di posa e connessione (connettori RJ45)
- adatto a cablaggi strutturati
- enorme diffusione a partire dal '90

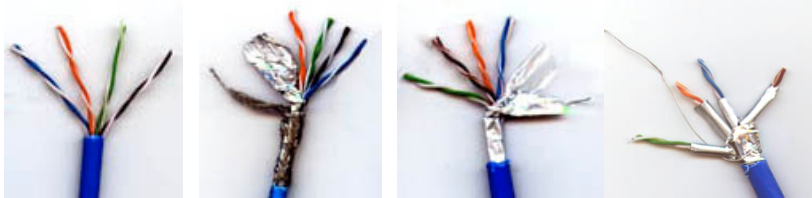
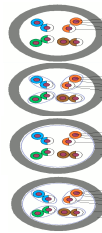
- Tipi di collegamenti

- tra stazione e stazione
- tra stazione e apparato
- tra apparati

16

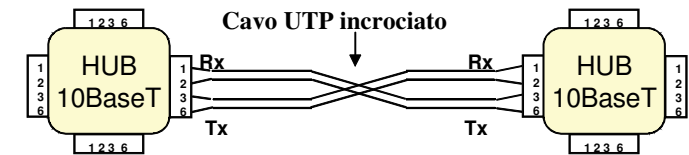
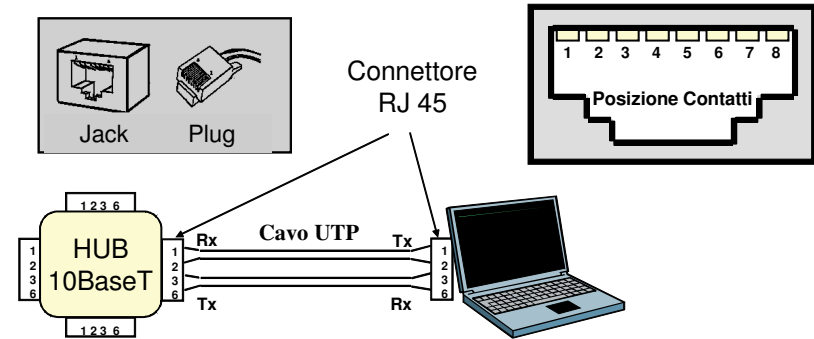
Coppia simmetrica (cont.)

- Tipologie di cavi
 - 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



17

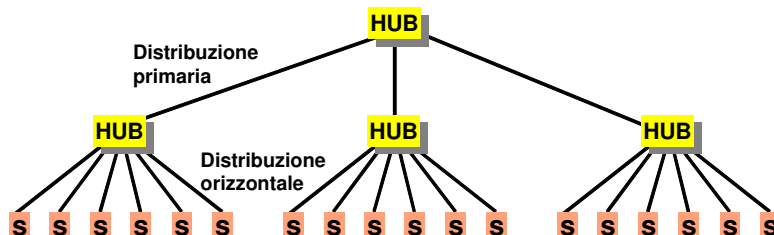
Connettori per Base-T



18

Cablaggio in coppia simmetrica (o in fibra)

- Esempio di topologia stellare gerarchica



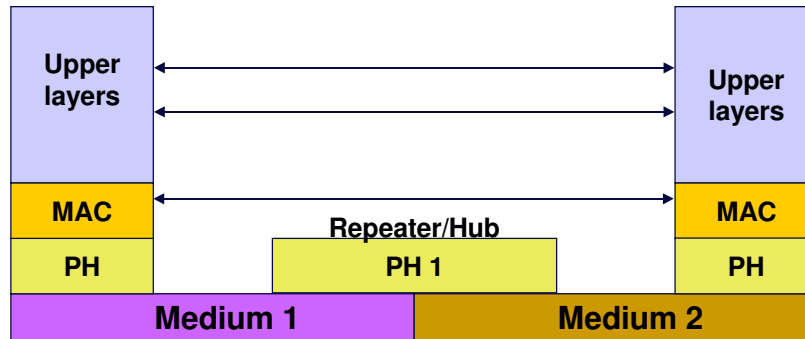
19

Fibra ottica

- Cavi con doppia fibra ottica
 - una fibra per ogni verso di trasmissione
 - elevate velocità di trasmissione
 - adatti a lunghe distanze di interconnessione
 - adatti ad ambienti con problemi di compatibilità elettromagnetica
- Caratteristiche:
 - insensibilità al rumore elettromagnetico
 - mancanza di emissioni
 - bassa attenuazione
 - banda passante molto elevata
 - costo della fibra relativamente basso
 - alto costo per interfacce e giunzioni
- Tipologie di fibre
 - Fibre multimodali
 - Fibre monomodali

20

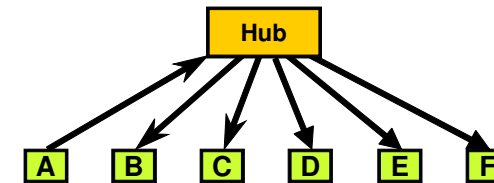
Repeater/Hub



21

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



22

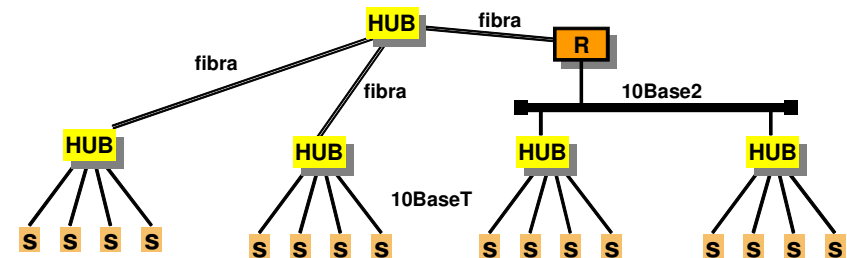
Repeater/Hub: funzioni

- Un pacchetto ricevuto su una porta va ripetuto su tutte le altre porte (Retiming)
- Se su un 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

23

Cablaggio misto

- Esempio di cablaggio misto a 10Mb/s



24

Ethernet a 100 Mb/s (IEEE 802.3u)

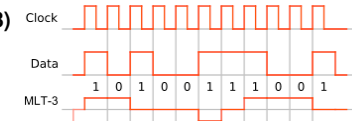
- 802.3u detto anche 100BASE-T o Fast-Ethernet
- Stesso protocollo CSMA/CD dello standard originale a 10Mb/s
- Velocità dieci volte superiore rispetto al 10 Mb/s
 - 100 Mb/s
 - bit time 10 ns
 - slot time 512 bit (5.12 μs)
- Distanze dieci volte inferiori
 - Stessa lunghezza del pacchetto
 - 'Round trip 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-TX (doppino, su 2 coppie)
 - 100BASE-4 (doppino, su 4 coppie)
 - 100BASE-FX (fibra ottica)

25

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

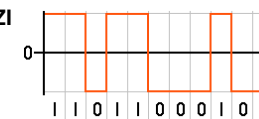
- 100BASE-TX utilizza con pochissime modifiche lo standard TP-PMD (Twisted-Pair Physical Medium Dependent) per FDDI:

- Codifica 4B/5B
- Scrambling
- Codifica MLT-3 (Multilevel threshold-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



26

Gigabit Ethernet

- Come lo standard IEEE 802.3u, rappresenta una evoluzione di Ethernet
 - formato e dimensione del pacchetto uguali a Ethernet 10/100Mb/s (IEEE 802.3)
 - bitrate di 1 Gb/s
- Come anche Fast-Ethernet, supporta le seguenti modalità operative:
 - Half-Duplex
 - CSMA/CD
 - nella pratica NON è implementato nella versione Gigabit
 - 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

27

Gigabit Ethernet (cont.)

- Gigabit Ethernet offre i vantaggi tipici di Ethernet:
 - semplicità del metodo di accesso CSMA/CD
 - alta scalabilità tra le diverse velocità di trasmissione
- Facile evoluzione (e costi contenuti) a partire da LAN Ethernet già esistenti:
 - sostituzione degli apparati di rete (hub, switch, schede, etc.)
- Nella modalità half-duplex per mantenere lo stesso slot time previsto per Fast Ethernet (e quindi stesso diametro max) è previsto:
 - estensione dei pacchetti corti
 - sino a raggiungere lunghezza di 4096 bit
 - trasmissione consecutiva di più pacchetti senza rilasciare il mezzo trasmissivo
 - fino al burst-limit che è di 65536 bit (8192 ottetti)

28

IEEE 802.3: Livello DL

IEEE 802.3 - Strato MAC/DL

- Funzioni realizzate da IEEE 802.3 livello DL:
 - controllo di accesso multiplo al mezzo (MAC)
 - rivelazione di errore
 - indirizzamento e istradamento delle UI
- Nodi a livello DL:
 - stazioni terminali
 - nodi intermedi: SWITCH e BRIDGE

30

Indirizzi Ethernet

- A livello PH le le UI vengono inviate a tutte le stazioni; a livello DL le UI vengono ricevute sulla base dell'indirizzo di destinazione presente nelle UI (DL-PDU)
 - indirizzi Ethernet (IEEE 802.3) o Indirizzi MAC
- L' indirizzo MAC è una stringa di 48 bit (6 Bytes)

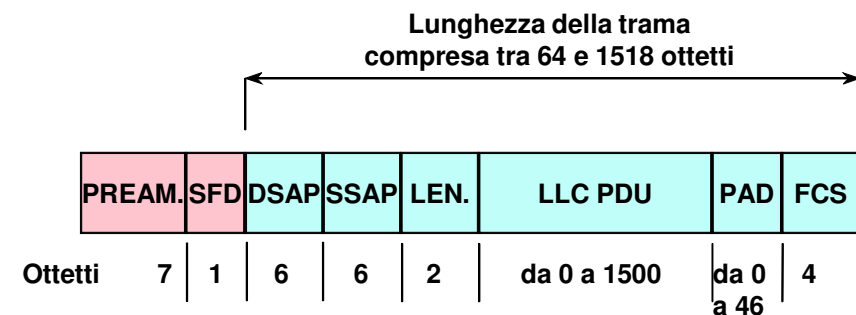


Assegnato dall'IEEE Assegnato dal costruttore

- L' indirizzo 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)

31

IEEE 802.3: Formato della trama



32

IEEE 802.3: Formato della trama (cont.)

- Formato di una MAC PDU (standard IEEE 802.3)
 - **preambolo (7 ottetti), formato da alternanze di 1 e 0**
 - **Start Frame Delimiter (SFD) (1 ottetto), con valore 1010101, indica l'inizio trama**
 - **indirizzo di destinazione (2 o 6 ottetti)**
 - **indirizzo di sorgente (2 o 6 ottetti)**
 - **lunghezza del campo dati (2 ottetti)**
 - **dati (nello standard 802.3 sono la PDU di strato LLC)**
 - **PAD (da 0 a 46 ottetti), inserito quando la parte dati è inferiore a 46 ottetti in modo da garantire che la trama abbia una lunghezza minima di 64 ottetti**
 - **Frame Check Sequence (FCS) (4 ottetti), di tipo CRC**

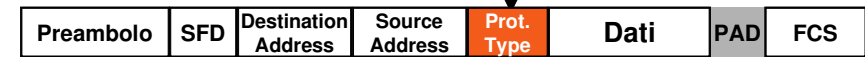
33

IEEE 802.3 / Ethernet

IEEE 802.3



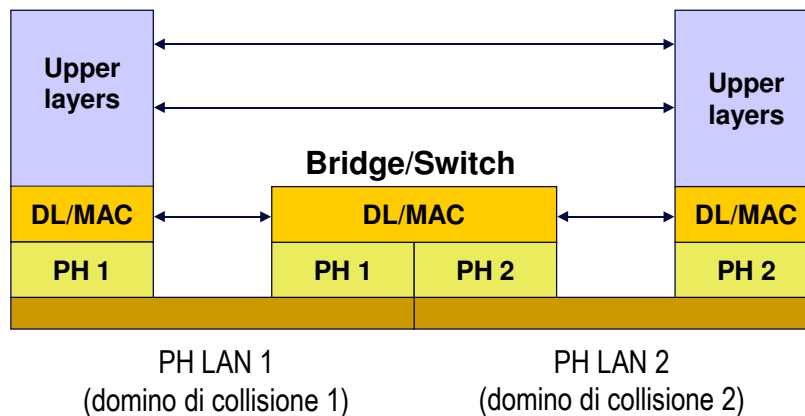
ETHERNET



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

34

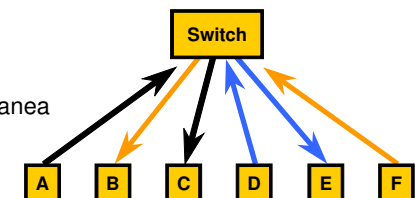
Bridging/Switching



35

Bridge e Switch

- I Bridge nascono per sezionare le LAN in differenti domini di broadcast a livello PH
 - **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



36

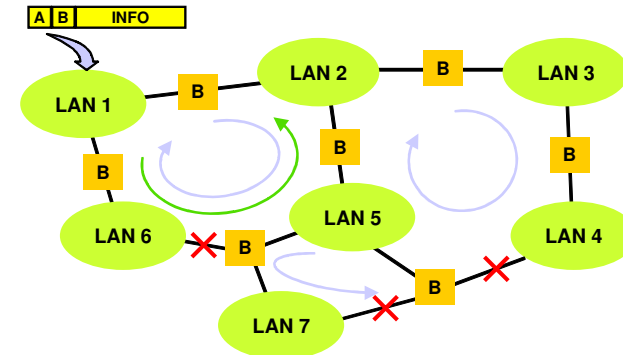
Bridging/Switching (cont.)

- 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
- In caso di rete magliata questa deve essere trasformata in albero
 - a questo scopo viene utilizzato un algoritmo/protocollo di **spanning-tree (IEEE 802.1D)**
 - gli instradamenti così ottenuti ("spegnendo" alcuni rami) non sono più quelli ottimali che sarebbero possibili nella rete magliata originale

41

Spanning tree

- L'algoritmo di spanning tree
 - ha lo scopo di trasformare una topologia magliata in albero
 - opera periodicamente
 - decide quali porte porre in stato di forwarding e quali in stato di blocking



42

Bridging/Switching (cont.)

- 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

MAC

43

Protocollo MAC IEEE 802.3

- E' funzione importante del IEEE 802.3 a livello DL
 - per questo lo strato viene indicato come strato MAC
- Carrier Sensing Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)
 - meccanismo non deterministico (accesso casuale) con tempo di attesa non limitato superiormente
 - concepito per topologie a bus ma utilizzato anche con topologie di strato fisico a stella e albero
 - un singolo segmento di rete che interconnette stazioni con solo nodi di livello PH viene visto a livello logico dal MAC come unico mezzo condiviso (dominio di collisione)

45

CSMA/CD

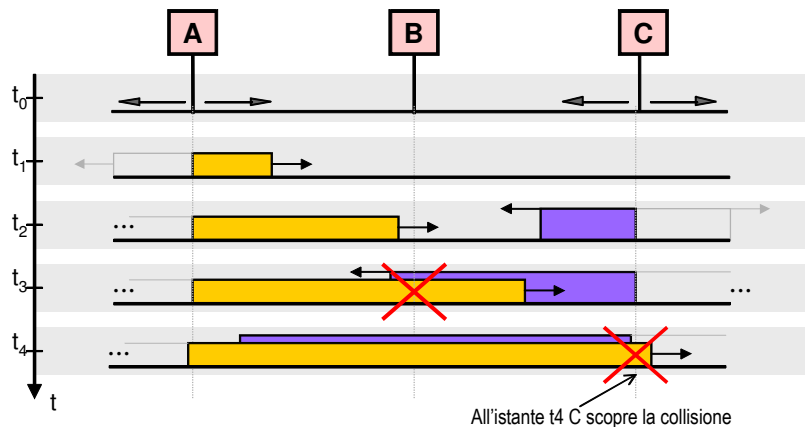
- Procedura di accesso al mezzo (CSMA):
 - Una stazione prima di tentare la trasmissione verifica lo stato del mezzo (*Carrier Sensing*)
 - Se il mezzo è occupato si ritarda l'emissione ad un istante successivo (si attende che diventi libero)
 - Quando il mezzo è libero si attende un tempo di *deferring* (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)
 - se il canale era stato rilevato occupato, oltre ad attendere un tempo di intertrama, l'istante successivo di emissione può essere ulteriormente ritardato in accordo ad una PROCEDURA DI PERSISTENZA
 - e.g. con probabilità p si trasmette subito, e con probabilità $1-p$ si ritarda
- A causa del ritardo di propagazione non nullo il protocollo CSMA non evita completamente le collisioni



46

CSMA/CD (cont.)

- Tra due stazioni (e.g. A e C) 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



47

CSMA/CD (cont.)

- 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 T scelto a caso tra 0 e T_{max} (algoritmo di subentro)
 - per ridurre la probabilità di collisione il valore di T_{max} dovrebbe dipendere dal numero di stazioni che stanno provando contemporaneamente ad inviare PDU
 - non potendo sapere quante sono le stazioni contemporaneamente in trasmissione, T_{max} viene aumentato *esponenzialmente* all'aumentare del numero di collisioni consecutive verificatesi (back-off esponenziale)

48

Back-off esponenziale

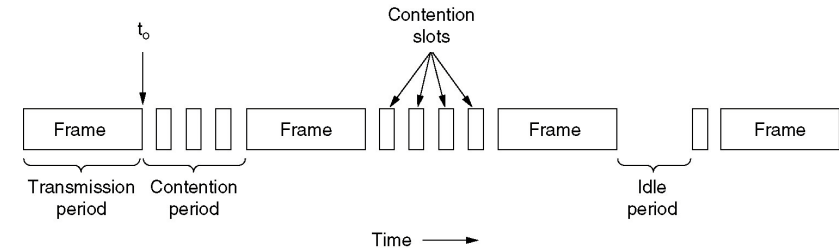
- Algoritmo che controlla le ritrasmissioni in caso di collisioni
- Parametri:
 - τ = tempo necessario a trasmettere 512 bit
 - e.g. Ethernet 100Mb/s, $\tau = 5,12 \mu\text{s}$
 - n = numero di trasmissioni tentate
- Algoritmo
 - tra due trasmissioni si deve attendere $T = r \cdot \tau$
 - al massimo 16 tentativi di trasmissione
 - r è scelto casualmente nell'intervallo

$$0 \leq r < 2^k \quad k = \min\{n, 10\}$$
 - ovvero, T viene scelto casualmente tra 0 e T_{max} , con $T_{\text{max}} = \min\{n\tau, 10\tau\}$

49

Protocollo CSMA/CD (cont.)

- Esempio di accesso CSMA/CD:



50

Procedura di emissione

- Procedura di 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

51

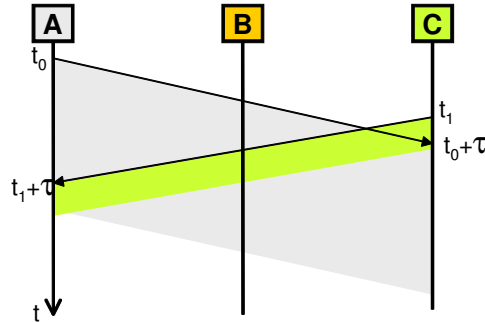
Procedura di ricezione

- Procedura di 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

52

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 tempo di propagazione da estremo a estremo



- Intervallo di vulnerabilità:
 - $\Delta T = t_1 + \tau_p - t_0 < 2\tau_p$

53

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; in questo modo:
 - a fine trasmissione la sorgente sa se la trama deve essere considerata inviata o deve essere ri-trasmessa
 - in caso di collisione chi trasmette può aggiungere alla trama in invio informazione che segnali l'evento (trama errata)
 - in questo modo si evita che alcune stazioni possano non accorgersi della collisione; tutte le stazioni capiscono che la trama deve essere scartata
- Per fare questo Ethernet fissa una lunghezza min di trama (MAC-PDU)
 - $L_{min} = 64 \text{ bytes (512 bit)}$
- Fissati L_{min} e il ritmo binario di linea R , risulta limitato superiormente il tempo di vulnerabilità, cioè
 - $\Delta T_{max} = 2\tau_p < L_{min}/R$
 - $\tau_p < L_{min}/2R$
 - $d_{max} = v_m \tau_p < v_m L_{min}/2R$
 - con d_{max} =distanza max, v_m =velocità di propagazione nel mezzo

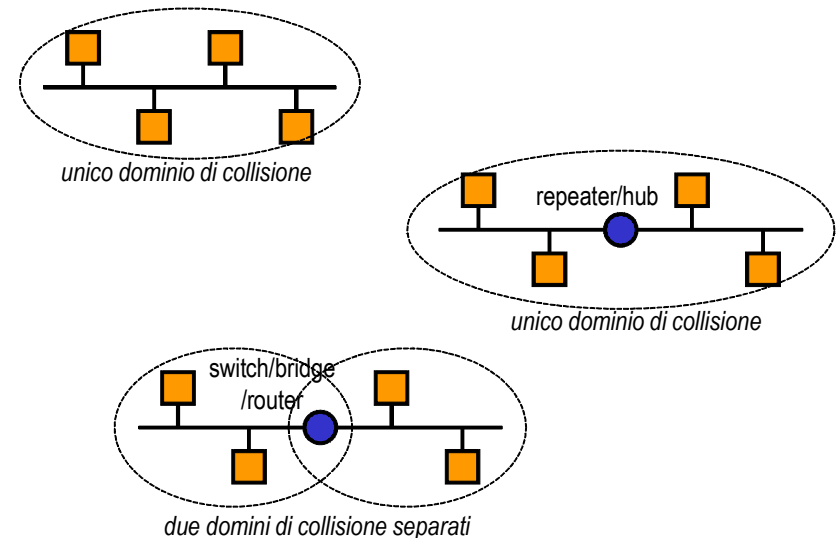
54

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 broadcast a livello fisico o 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 superiori al fisico (bridge, switch)

55

Dominio di collisione (cont.)



56

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
 - **assenza di collisioni, viene disattivato il CSMA-CD**
 - **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 (non c'è dominio si collisione)**

57

Ethernet Full-Duplex (2/2)

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

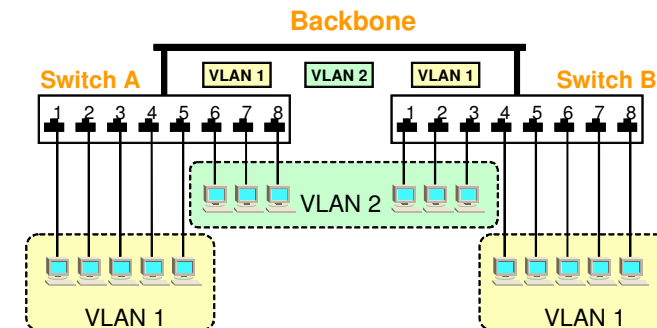
58

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 con apparati di rete**
 - **definizione di più sottoreti logiche separate tramite opportune configurazioni 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**

59

VLAN



60

VLAN: layout logico equivalente

