

**Lucidi originariamente di Antonio Capone -
Politecnico di Milano**

Reti e Sistemi operativi

**Reti locali
parte A**

1

Reti locali

Le reti locali (Local Area Networks-LAN) sono reti di telecomunicazione pensate e ottimizzate per connettere numerosi e differenti tipi di apparecchiature in un' area geografica limitata (un edificio, una fabbrica, un campus).

La rete locale di solito appartiene, viene usata e gestita da una singola organizzazione. Le reti locali standardizzate dal comitato IEEE 802 sono reti di comunicazione peer-to-peer che utilizzano un mezzo condiviso. Occorre quindi progettare un sottolivello di accesso (Medium Access Control) per regolare l'accesso al mezzo condiviso.

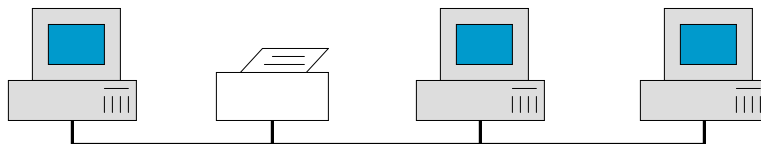
2

Motivi del successo delle reti locali

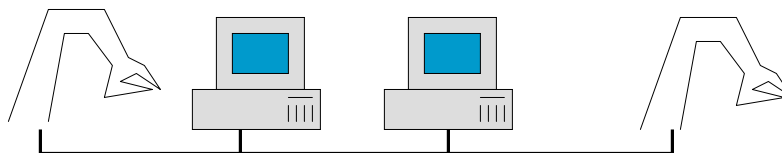
- Diminuzione dei costi e aumento della capacità computazionale dei computer
- ➔ numero crescente di computer situati nello stesso edificio
- necessità di interconnettere le varie apparecchiature
 - necessità di scambiare dati (e.g. applicazioni groupware)
 - necessità di condividere risorse 'costose' (e.g. stampanti, database etc.)

3

Esempi di reti locali



- Rete di laboratorio / rete di ufficio



- Automazione di fabbrica

4

Caratteristiche delle reti locali

Le reti locali (Local Area Networks-LAN) sono reti di telecomunicazione pensate e ottimizzate per connettere numerosi e differenti tipi di apparecchiature in un' **area geografica limitata** (un edificio, una fabbrica, un campus).

La rete locale di solito appartiene, viene usata e gestita da una singola organizzazione. Le reti locali standardizzate dal comitato IEEE 802 sono reti di comunicazione peer-to-peer che utilizzano un mezzo condiviso. Occorre quindi progettare un sottolivello di accesso (Medium Access Control) per regolare l'accesso al mezzo condiviso.

Una rete locale interconnette varie apparecchiature senza richiedere nodi di switch intermedi. E' un unico dominio di broadcast ed un unico dominio di collisione.

5

Domini di broadcast e domini di collisione

- **Un dominio di broadcast è quella porzione di rete in cui se una stazione trasmette una trama all'indirizzo MAC di broadcast tutte le altre stazioni ricevono la trama.**
- **Un dominio di collisione è quella porzione di rete in cui se due stazioni trasmettono contemporaneamente una trama si verifica una collisione.**

6

Caratteristiche delle reti locali

Le reti locali (Local Area Networks-LAN) sono reti di telecomunicazione pensate e ottimizzate per connettere numerosi e differenti tipi di apparecchiature in un'area geografica limitata (un edificio, una fabbrica, un campus). La rete locale di solito appartiene, viene usata e gestita da una **singola organizzazione**. Le reti locali standardizzate dal comitato IEEE 802 sono reti di comunicazione peer-to-peer che utilizzano un mezzo condiviso. Occorre quindi progettare un sottolivello di accesso (Medium Access Control) per regolare l'accesso al mezzo condiviso.

- La gestione della rete pesa unicamente sull'utente (organizzazione)
- I costi di acquisto delle apparecchiature e di gestione non possono essere condivisi tra più organizzazioni

[Bassi costi](#)

[Semplicità](#)

[Affidabilità e facilità di manutenzione](#)

[Facile spostamento e aggiunta di stazioni](#)

7

Caratteristiche delle reti locali

Le reti locali (Local Area Networks-LAN) sono reti di telecomunicazione pensate e **ottimizzate** per connettere **numerosi** e differenti tipi di apparecchiature in un'area geografica limitata (un edificio, una fabbrica, un campus). La rete locale di solito appartiene, viene usata e gestita da una singola organizzazione. Le reti locali standardizzate dal comitato IEEE 802 sono reti di comunicazione peer-to-peer che utilizzano un **mezzo condiviso**. Occorre quindi progettare un sottolivello di accesso (Medium Access Control) per regolare l'accesso al mezzo condiviso.

- Una buona percentuale del traffico si limita alle singole LAN o all'interconnessione di LAN appartenenti alla stessa organizzazione
- Molte apparecchiature condividono lo stesso mezzo
- Trasmissioni veloci e a burst (terminali grafici, applicazioni in tempo reale)

[Alti data rate](#)

8

Caratteristiche delle reti locali

Le reti locali (Local Area Networks-LAN) sono reti di telecomunicazione pensate e ottimizzate per connettere **numerosi e differenti tipi** di apparecchiature in un'area geografica limitata (un edificio, una fabbrica, un campus). La rete locale di solito appartiene, viene usata e gestita da una singola organizzazione. Le reti locali standardizzate dal comitato IEEE 802 sono reti di comunicazione peer-to-peer che utilizzano un mezzo condiviso. Occorre quindi progettare un sottolivello di accesso (Medium Access Control) per regolare l'accesso al mezzo condiviso.

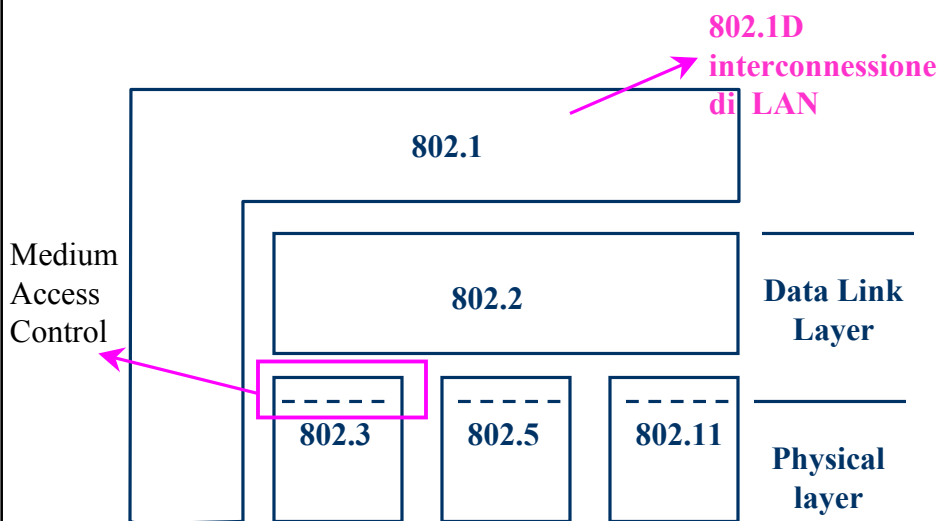
- Una grande varietà di apparecchiature devono poter essere collegate
- Indipendenza dal costruttore
- Possibilità di interconnessione con reti geografiche

Compatibilità → standardizzazione

9

Standardizzazione delle reti locali

■ Comitato di standardizzazione IEEE 802



10

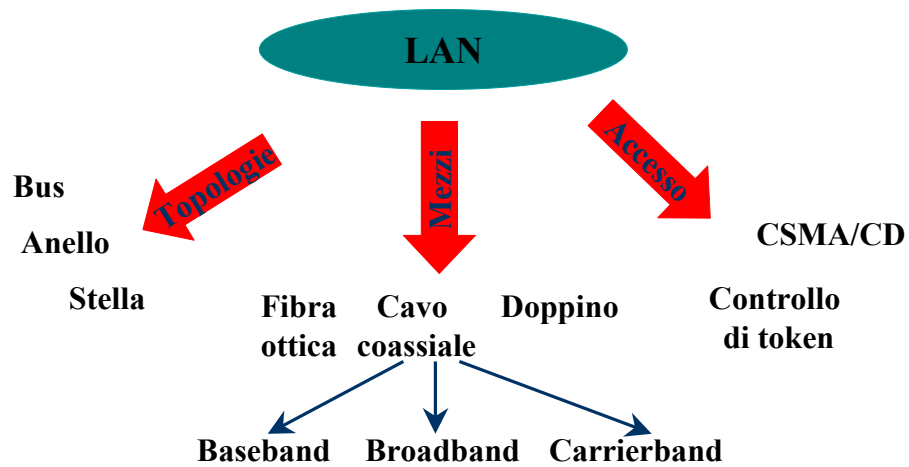
Elementi di Progetto

- Tecnologia e mezzo di trasmissione
- Topologia
- Protocolli di accesso



11

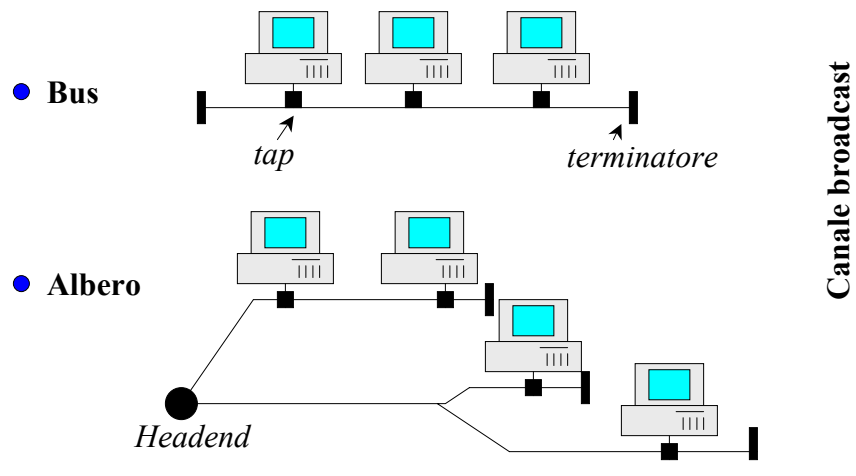
Parametri di scelta



12

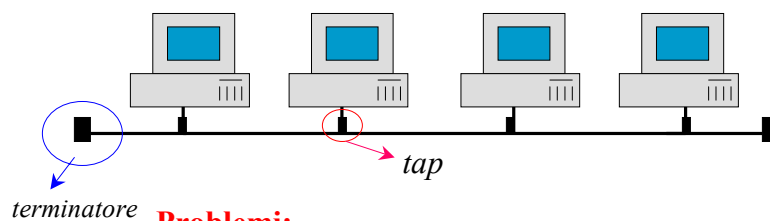
Topologie

- **Topologia:** indica il modo in cui le stazioni in rete sono interconnesse
- **Topologie tipiche:**



Topologie a bus

- **Unico mezzo trasmissivo condiviso dalle varie stazioni.**
La trasmissione di una stazione si propaga per tutta la lunghezza del mezzo e viene ricevuta da tutte le stazioni.
Alla fine del bus il segnale e' assorbito da un terminatore.



Problemi:

- accessi contemporanei causano collisioni → **MAC**
- e' necessario indirizzare la stazione destinazione del messaggio

14

Problematiche

■ **Controllo d'accesso**

Trasmissioni contemporanee sul canale collidono. Occorre quindi sviluppare protocolli per controllare l'accesso al mezzo condiviso in modo da evitare o limitare le collisioni. Se collisioni possono comunque avvenire devono poter essere individuate in modo da poter procedere alla ritrasmissione delle trame coinvolte nella collisione.

■ **Indirizzamento**

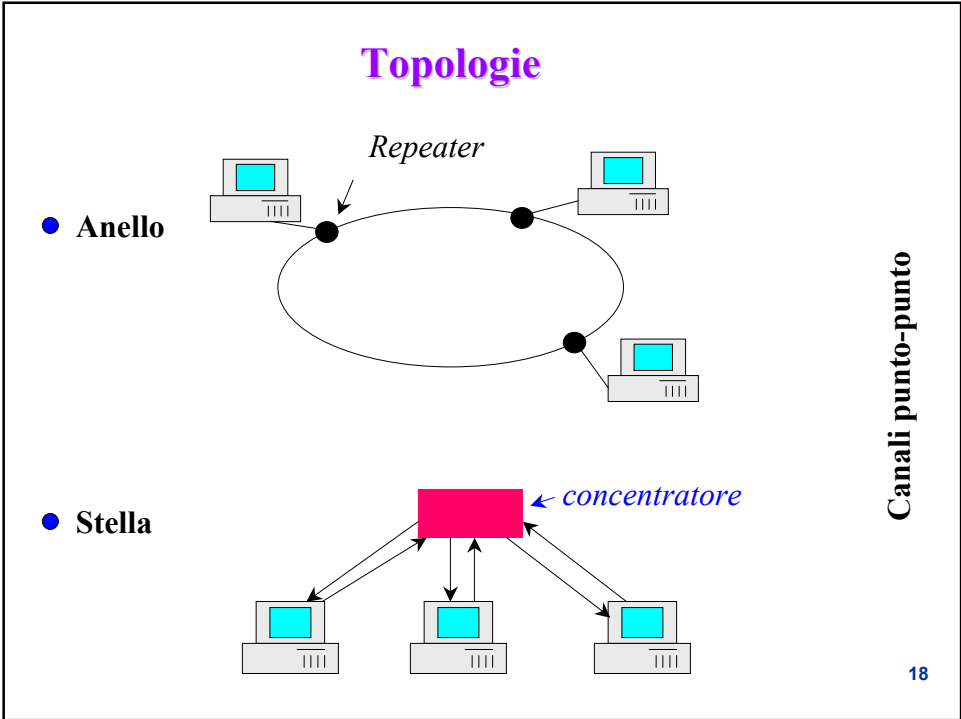
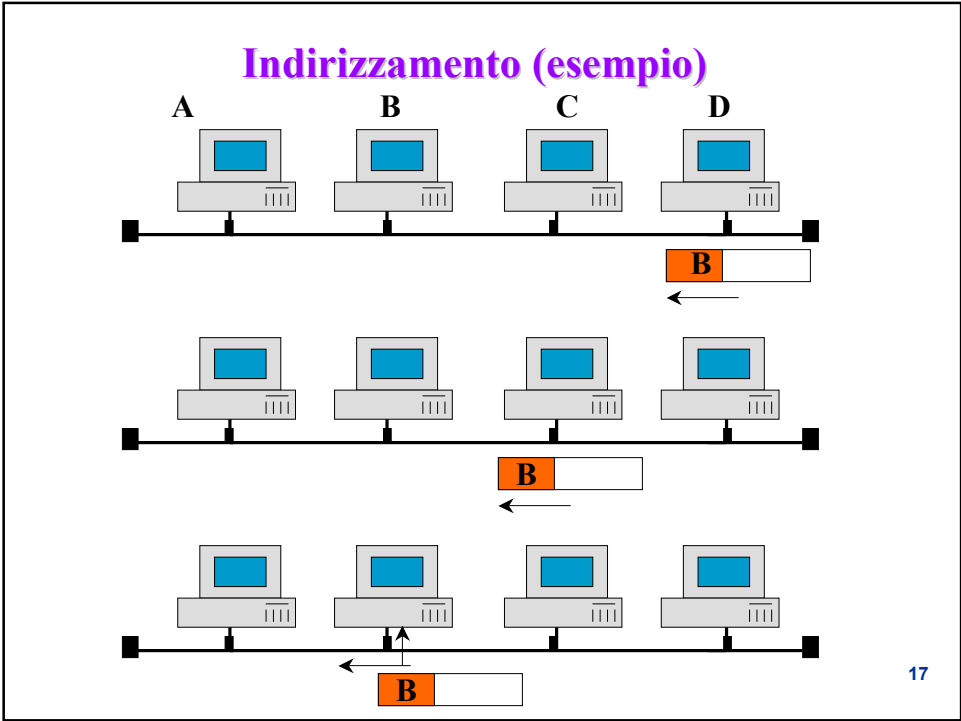
Le trame vengono ricevute da tutte le stazioni. Occorre un meccanismo che consenta ad ogni nodo di riconoscere se sia o meno destinazione della trama ricevuta.

15

Indirizzamento

- Le trasmissioni vengono divise in trame. Ciascuna stazione ha associato un indirizzo univoco (MAC address) associato dal costruttore della scheda di rete. Il MAC address della stazione destinazione viene indicato nel campo destinazione dell'header di trama. Quando una stazione riceve una trama verifica se il valore del campo destinazione della trama corrisponde ad un suo indirizzo. Solo in questo caso copia la trama ricevuta e la passa per ulteriori elaborazioni ai livelli superiori.

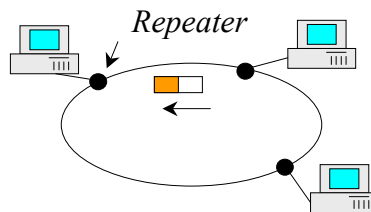
16



Problematiche

- Controllo d'ammissione
- Indirizzamento
- Riassorbimento delle trame

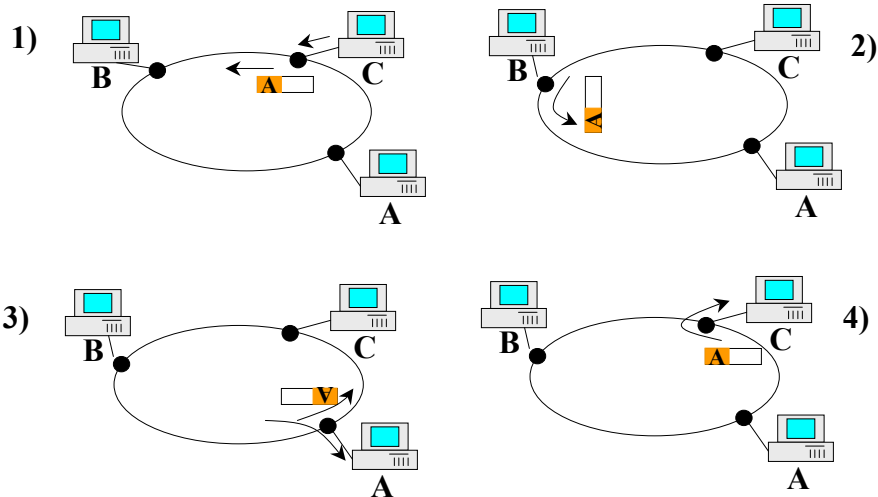
I pacchetti possono circolare indefinitivamente in rete.



Soluzione: la stazione che ha generato una trama provvede al riassorbimento.

19

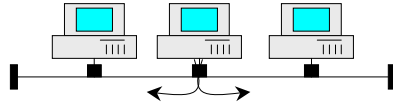
Es: rete ad anello



20

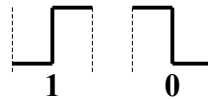
Implementazione di topologie a bus

■ Cavo coassiale in banda base (baseband)



● Trasmissione di segnali digitali

Manchester encoding



● Trasmissione bidirezionale

● Attenuazioni/distorsioni del segnale → dim. max di un segmento di rete circa 1Km

● Notazione

Bit rate ← **X BASE Y** → *Dim. Max di un segmento*

21

Esempio: 802.3 10 BASE 5

■ 10 BASE 5

10 Mbps

Mezzo utilizzato: cavo coassiale in banda base

Max. dim. di un segmento 500 metri

USATO NELLO STANDARD 802.3!!!

cavo a 50 ohm

max. numero di segmenti: 4 → dim. max rete 2.5 Km

≤ 100 taps per segmento

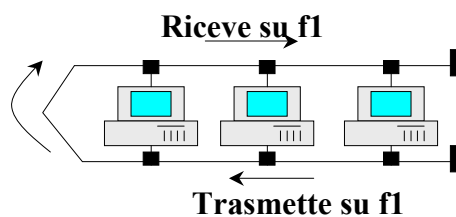
distanza minima tra due tap: 2.5 m

22

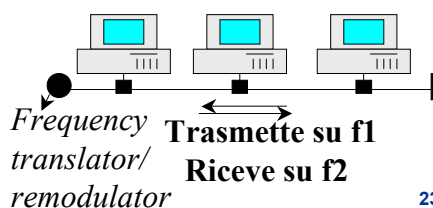
Cavo coassiale broadband

- Trasmissione di segnali analogici
- Unidirezionale
- Possibile FDM
- Dim. max di un segmento: vari Km
- Notazione X **BROAD** Y

Configurazione duale



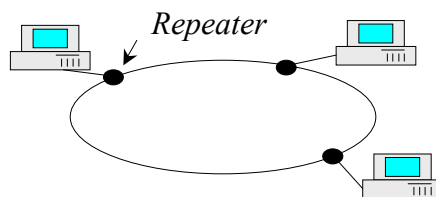
Configurazione split



23

Implementazione di topologie ad anello

- Sono realizzate con una cascata di canali punto-punto interconnessi da ripetitori

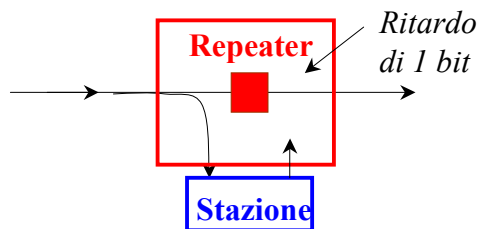


- I ripetitori svolgono un duplice ruolo:
 - 1) ripetono sul link di uscita i bit ricevuti (dopo averlo copiato nel caso la stazione sia destinazione della trama)
 - 2) rappresentano l'accesso alla rete per le stazioni

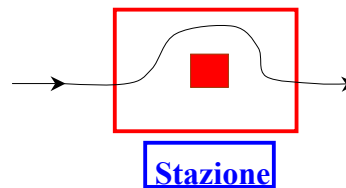
24

Stato dei ripetitori

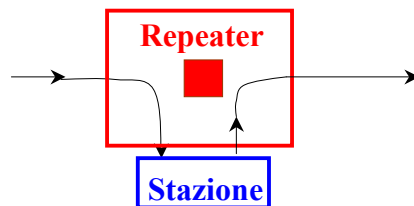
Stato di ascolto



Stato di by-pass (stazione non attiva)



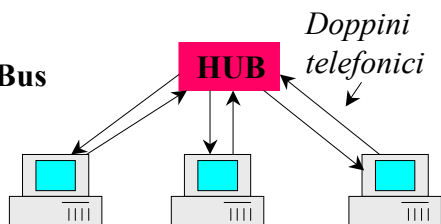
Stato di trasmissione



25

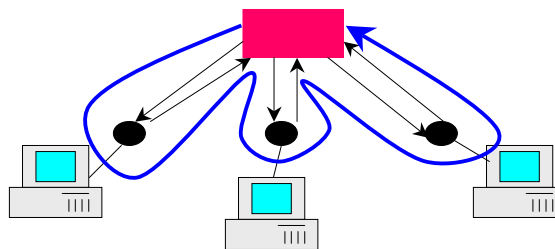
Uso di topologie a stella per realizzare topologie logiche a bus o ad anello

• Bus



L' HUB si comporta come un repeater: quando riceve una trama da una stazione ripete il segnale sulle linea in uscita verso tutte le altre stazioni

• Anello

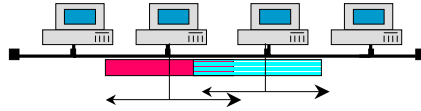


26

Protocolli di accesso

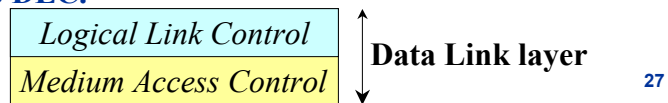
■ Problema:

Se due o più trasmissioni avvengono contemporaneamente si verifica una 'collisione' che non permette di ricevere correttamente il segnale.

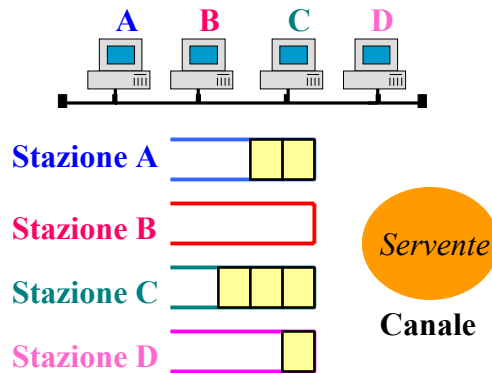


■ Occorre quindi sviluppare protocolli per controllare l'accesso al mezzo condiviso in modo da evitare o limitare le collisioni. Se collisioni possono avvenire devono poter essere individuate in modo da poter ritrasmettere le trame coinvolte nella collisione.

■ Questa funzione è svolta dal sottolivello MAC (Medium Access Control) del livello DLC.



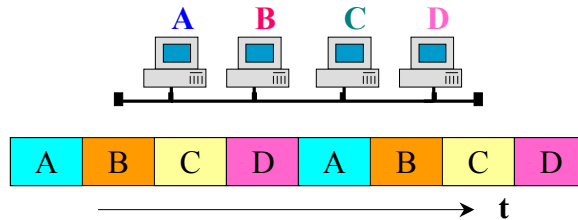
Modello concettuale dell'accesso multiplo



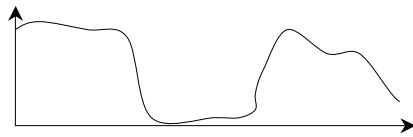
- Il servente non sa se e quanti pacchetti sono presenti in ogni coda
- Ciascuna stazione è inconsapevole dello stato delle code delle altre stazioni

28

Esempio: TDMA



- Il traffico nelle LAN e' tipicamente bursty, molte stazioni



- TDMA inefficiente: ritardi elevati, throughput basso

29

Esempio: Round Robin

- Ciascuna stazione a turno ha l'opportunita' di trasmettere
- Quando viene il suo turno la stazione

se non ha trame in coda:

→ declina l'opportunita' di trasmettere

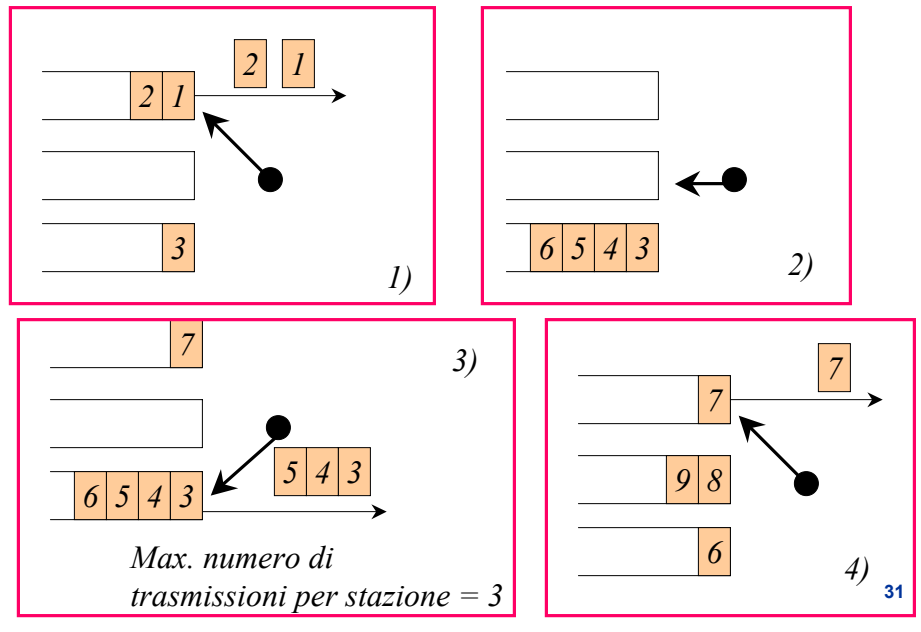
se ha trame in coda:

→ trasmette le trame fino ad un massimo numero di trame

I diritto a trasmettere passa quindi alla stazione successiva

30

Esempio: Round Robin



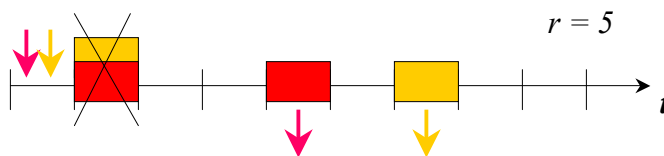
I protocolli ad accesso casuale

- ◆ I protocolli ad accesso casuale rinunciano ad un esplicito coordinamento
- ◆ accettando le **collisioni**
- ◆ si differenziano per il modo con cui le risolvono
- ◆ e per il **feed-back** di canale (informazione derivata dall'ascolto del canale)
- ◆ Le collisioni vengono risolte introducendo un **meccanismo casuale**

32

Protocolli ad accesso causale Esempio: Slotted Aloha

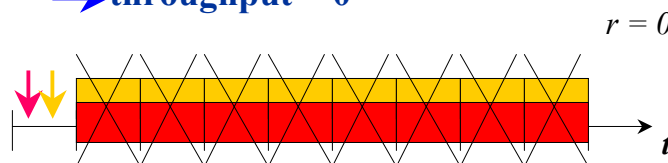
- Canale slottizzato
- Quando arriva un pacchetto la stazione prova a trasmetterlo nel primo slot disponibile
- Se si verifica una collisione la stazione prova a ritrasmettere la trama dopo un numero di slot scelto uniformemente in un intervallo $0 - r$



33

Slotted Aloha: risoluzione delle collisioni

- $r = 0 \rightarrow$ la collisione si ripete all'infinito
 \rightarrow throughput = 0



- Se il traffico e' elevato occorre un r elevato per evitare instabilita'

Vorremmo r piccolo in situazione di rete scarica, r grande in situazioni di congestione !!!

34

Slotted Aloha: risoluzione delle collisioni Backoff Esponenziale

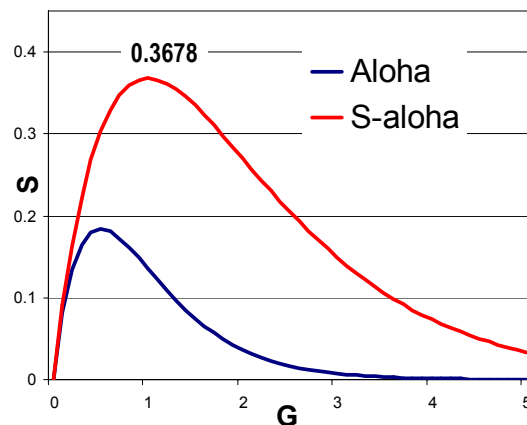
- Riconosciuta la collisione la stazione opera nel seguente modo:
 - sceglie un intero X a caso ed in modo uniforme nell'intervallo $0, 2^{\text{Min}(K, \text{max})}$
 - K numero di collisioni già subite dal pacchetto
 - max settato per limitare la dim. Massima dell'intervallo di ritrasmissione
 - aspetta X slot prima di tentare la ritrasmissione

35

Slotted Aloha: prestazioni

- ◆ Trasmissione in slot sincroni
- ◆ La collisione è totale o non c'è

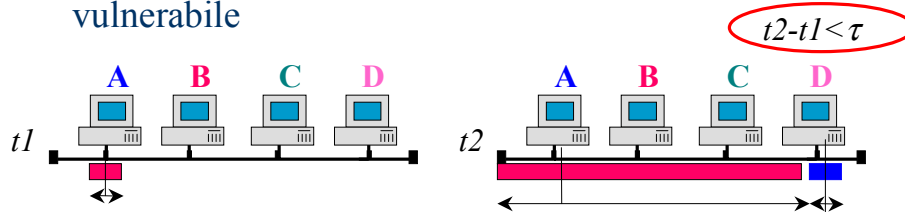
$$S = Ge^{-G}$$



36

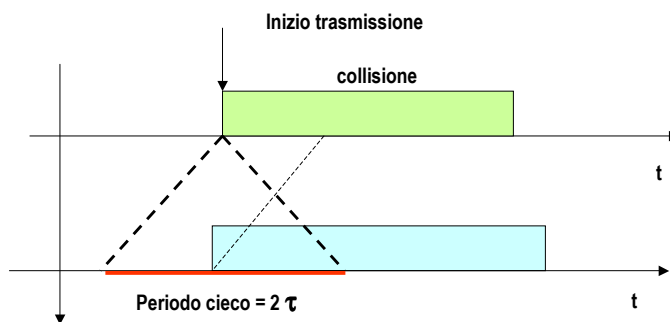
Carrier Sense Multiple Access

- ◆ Il CSMA è stato pensato per sistemi in cui si possa ascoltare il canale (Carrier Sense)
- ◆ La trasmissione è possibile solo se il canale è sentito libero
- ◆ Le collisioni sono possibili a causa del periodo vulnerabile



t_1, t_2 tempi in cui le stazioni A e D avendo verificato che il canale è libero iniziano la trasmissione di una trama³⁷

Periodo vulnerabile



τ : tempo di propagazione con l'utente più lontano

T : durata della trasmissione = B / V

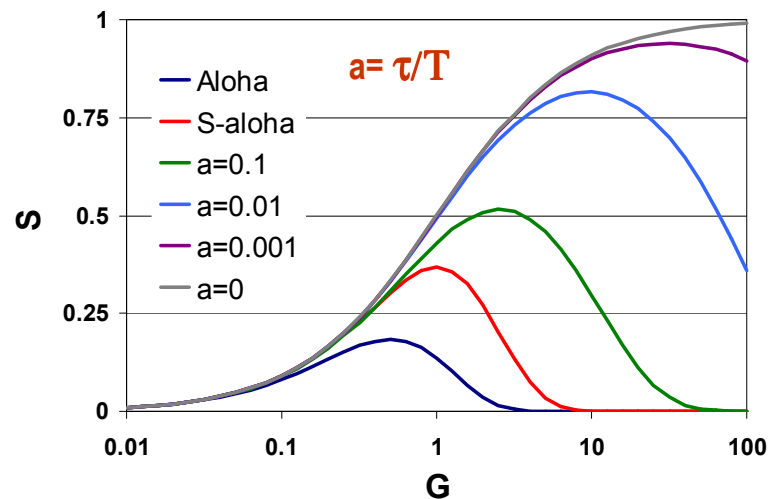
Varianti Carrier Sense

◆ Se al momento della trasmissione il canale è sentito attivo:

- la trasmissione è rimandata dopo un tempo casuale (come se colliso) (non persistent)
- la trasmissione è sospesa fino a che il CS si abbassa e il canale diventa libero (persistent)
- con probabilità p si usa la modalità persistent e con $1-p$ la non persistent (P-persistent)

39

Prestazioni non persistent



40

CSMA- Collision Detect

- ◆ In alcuni canali è possibile alle stazioni scoprire l'occorrenza di una collisione
- ◆ Il tempo necessario perche' tutte le stazioni coinvolte in una collisione se ne accorgano dipende dal tempo di propagazione (piccolo rispetto al tempo di trasmissione nelle LAN)



● Perche' continuare a trasmettere trame che hanno colliso?

● Non appena una stazione si accorge della collisione smette di trasmettere la trama

→ CSMA-CD

41

Vantaggio del CSMA-CD

- ◆ Riduce lo spreco delle risorse di rete durante la collisione, limitandone estremamente la durata.

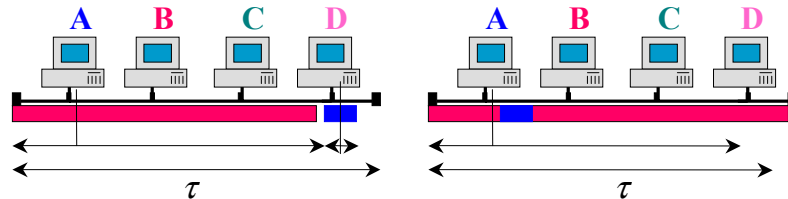
→ Throughput piu' elevato rispetto al CSMA

- ◆ Il vantaggio rispetto al CSMA e' tanto piu' elevato quanto piu' il tempo necessario perche' le varie stazioni coinvolte nella collisione se ne accorgano e' piccolo rispetto al tempo di trasmissione della trama.

42

Tempo necessario per l'individuazione della collisione

Cavo coassiale in banda base: *WORST CASE*

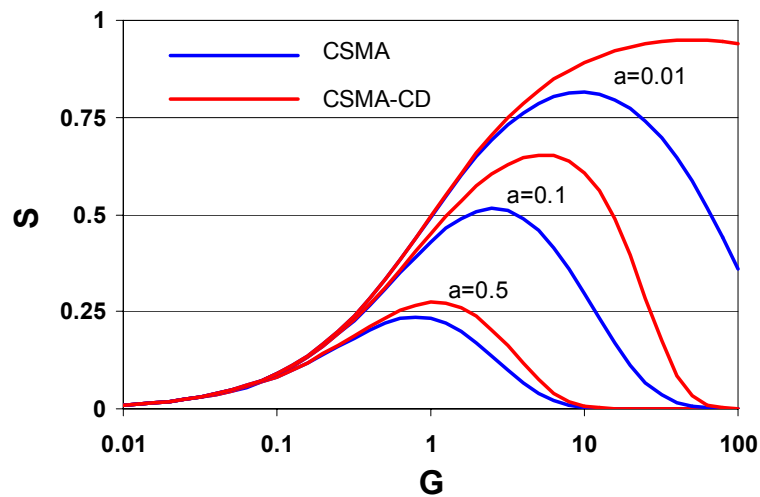


D riconosce immediatamente la collisione e smette di trasmettere ma A se ne accorge dopo un ulteriore tempo di propagazione end-to-end τ , per un totale di 2τ prima che tutte le stazioni smettano di trasmettere.

CSMA/CD conveniente se la dimensione della trama e' maggiore di 2τ !

43

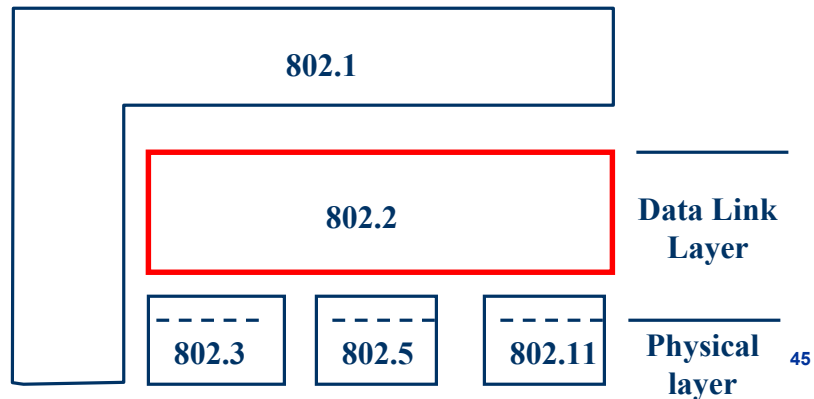
Prestazioni CSMA-CD



44

Logical link control (LLC) sublayer

- E' specificato nello standard IEEE 802.2
- E' lo stesso per tutte le tipologie di LAN standardizzate dall'IEEE 802.
- Molto simile all'HDLC



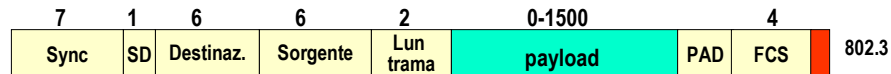
Protocollo Ethernet - IEEE 802.3 (CSMA/CD)

- ◆ Se al momento del comando di trasmissione il canale è sentito libero, si trasmette effettivamente
- ◆ Se al momento della trasmissione il canale è sentito occupato, si attende la fine e poi si trasmette (1 persistent)
- ◆ Se si scopre la collisione, la trasmissione viene abortita, non prima di aver trasmesso altri 32 bit (jamming sequence) per essere sicuri che tutte le stazioni coinvolte siano in grado di riconoscere la collisione
- ◆ A seguito di una collisione la trasmissione viene ritentata dopo X time slots (1 time slot scelto circa pari a 2τ)
- ◆ X è scelto fra 0 e $2^{\min(K, 10)}$ con K numero di collisioni consecutive, $K \leq 16$ (exponential binary backoff)
- ◆ Sono consentiti fino a 16 tentativi dopo i quali la trama viene eliminata

46

Protocollo Ethernet (IEEE 802.3)

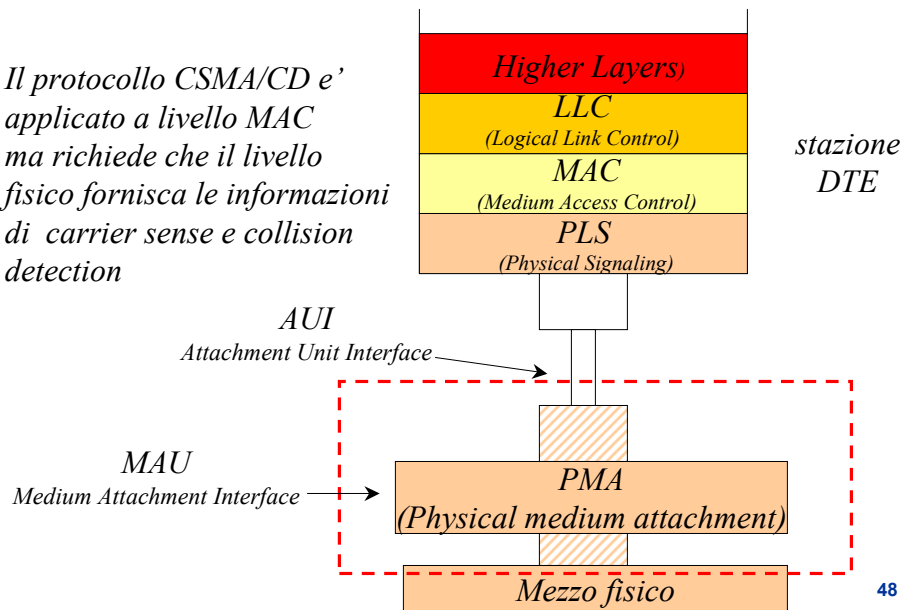
- ◆ CSMA-CD, in origine per bus a 10 Mb/s
- ◆ la minima lunghezza della trama MAC è di 512 bit (slot) pari a 51.2 μ s
- ◆ la velocità di propagazione media è di $2 \cdot 10^8$ m/s (5 μ s/Km)
- ◆ ne segue una distanza massima teorica di 5 Km
- ◆ con i ritardi negli apparati si fissa il diametro a 2.5 Km



47

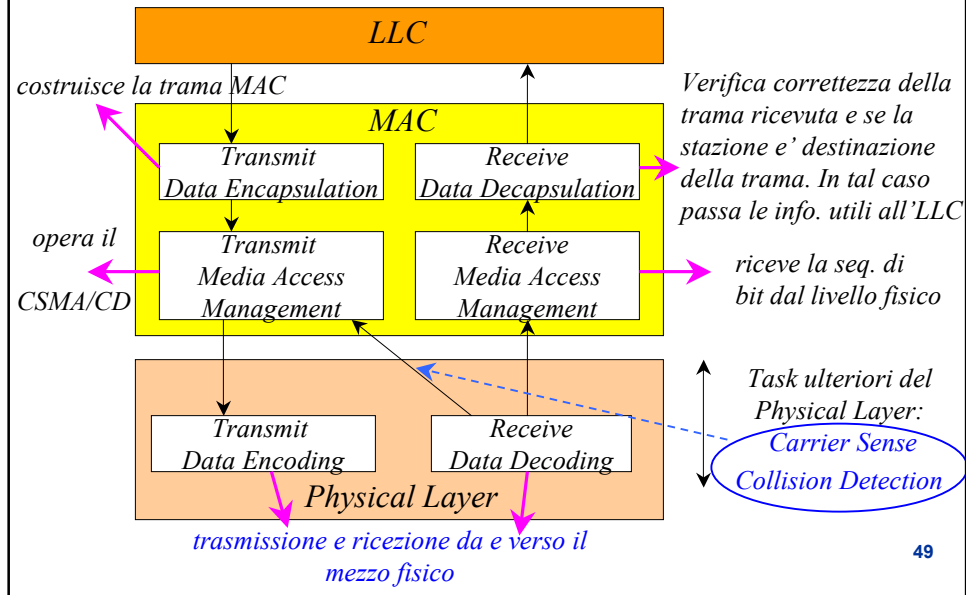
Architettura di una stazione 802.3

Il protocollo CSMA/CD e' applicato a livello MAC ma richiede che il livello fisico fornisca le informazioni di carrier sense e collision detection



48

Suddivisioni delle funzioni



49

Funzionamento CSMA/CD: Trasmissione senza contesa

- Quando l'LLC richiede la trasmissione di una trama il componente **Transmit Data Encapsulation** del sottolivello MAC costruisce la trama con i dati forniti dall'LLC. Aggiunge preambolo e delimitatore di inizio trama, inserisce indirizzo di destinazione e sorgente, calcola la lunghezza del campo informativo, inserisce il campo informativo, se la dimensione della trama e' inferiore alla minima prevista aggiunge bit nel campo di padding, calcola il CRC. La trama cosi' formata e' passata al TMAM.
- Il componente **Transmit Media Access Management (TMAM)** del MAC implementa il protocollo di accesso:
 - Monitora il segnale di Carrier Sense (CS) fornitogli dal livello fisico
 - Quando il mezzo fisico diventa libero inizia la trasmissione. Invia quindi la sequenza dei bit della trama al PLS che provvede a generare i segnali elettrici da inviare sul mezzo fisico.
 - Quando la trasmissione e' stata completata il sottolivello MAC ne informa l' LLC. Il MAC e' quindi pronto e aspetta una successiva richiesta di trasmissione.

50

Funzionamento CSMA/CD:

Ricezione senza contesa

- La trama in arrivo e' riconosciuta dal PLS della stazione ricevente. Il PLS si sincronizza utilizzando il preambolo e attiva il Carrier Sense.
- Dopo aver eliminato i bit del preambolo e del delimitatore di inizio trama il PLS passa i dati al componente **Receive Media Access Management (RMAM)** del sottolivello MAC
- Il RMAM raccoglie dati finche' il segnale di Carrier Sense rimane attivo. Passa quindi i dati al componente **Receive Data Decapsulation (RDD)** del sottolivello MAC.
- Il RDD controlla la correttezza dell'indirizzo di destinazione e attraverso il CRC verifica se la trama e' stata danneggiata durante la trasmissione. Se l'indirizzo corrisponde a quello della stazione e i dati sono corretti la trama e' inviata al sottolivello LLC.

51

Funzionamento CSMA/CD:

Gestione della collisione

- In caso di collisione i PLS delle stazioni che stanno trasmettendo attivano il segnale di Collision Detection che viene riconosciuto dal **Transmit Media Access Management (TMAM)**. Questo inizia le procedure di gestione della collisione.
- Il componente TMAM trasmette una sequenza di bit (JAM) per forzare la collisione. Questa operazione assicura che la durata della collisione sia tale da poter essere riconosciuta da tutte le stazioni.
- Completata la trasmissione della sequenza di JAM il TMAM smette di trasmettere e schedula un nuovo tentativo di trasmissione della trama trascorso un tempo scelto a caso secondo l'algoritmo di Backoff esponenziale. La trasmissione e' ripetuta se si ripetono le collisioni. Poiche' piu' collisioni indicano che il mezzo e' occupato il TMAM si adatta al carico riducendo il ritmo delle sue ritrasmissioni. Infine o la trasmissione ha successo o si interrompono i tentativi nell'ipotesi che o il mezzo fisico si e' rotto o e' in una situazione di sovraccarico.

52

Parametri funzionali: riassunto

- **Velocita' di trasmissione: 10 Mbps**
- **Durato dello 'slot': 512 tempi di bit**
- **Intervallo tra le PDU: 9.6 ms**
- **Numero massimo di tentativi: 16**
- **Limite di backoff: 10**
- **Lunghezza del segnale di jam: 32 bit**
- **Massima dimensione della PDU: 1518 ottetti**
- **Minima dimensione della PDU: 512 bit**

53

Mezzi trasmissivi in 802.3

- **Cavo coassiale in banda base**
 - **10 BASE 5**
 - **10 BASE 2 (max. dim segmento 185 m, numero di tap per segmento ≤ 30 , cavo coassiale thin)**
- **Cavo coassiale broadband**
 - **10 BROAD 36**
- **Doppino**
 - **10 BASE T (realizzazione con topologia fisica a stella, stazioni attaccate a un HUB con canali punto punto realizzati tramite doppino)**

54

Carrier sense e Collision Detection

Dipende dal particolare mezzo trasmissivo usato.

Esempio: cavo coassiale in banda base

- **Carrier Sense:** basato sull'individuazione di transizioni sul canale corrispondenti alla codifica di bit nel codice Manchester
- **Collision detection:** quando il valore del segnale ricevuto supera una certa soglia

55

Ethernet: prestazioni

- + Affidabilità (passività del mezzo trasmissivo)
- + Protocollo MAC totalmente distribuito e semplice
- + Ritardo di accesso minimo se il traffico in rete è basso (basato su CSMA 1-persistente)

- L'efficienza di banda diminuisce all'aumentare del parametro τ/T . Per ottenere buone prestazioni bisogna bilanciare i seguenti fattori:

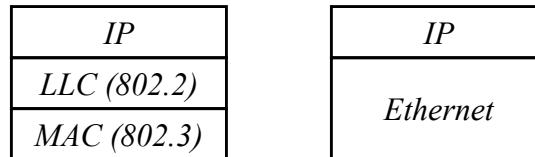
Estensione geografica $\longrightarrow \tau$
Velocità trasmissiva $\longrightarrow T$
Lunghezza minima dei pacchetti \nearrow

- Nessuna garanzia sul massimo ritardo di accesso di una stazione
- Non è possibile differenziare tra le trame garantendo a traffico real-time una maggiore priorità di accesso

56

802.3 o Ethernet

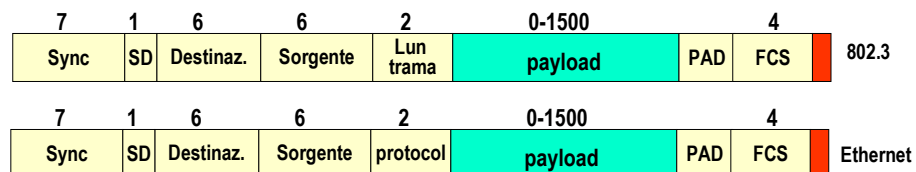
- In realtà non sono la stessa cosa:
- l'802.3 usa un livello LLC (802.2)
- l'ethernet colloquia direttamente con i livelli di rete
- ad esempio nel caso di IP:



57

802.3 o Ethernet

- Nell'Ethernet il campo protocol serve ad indirizzare il SAP verso i livelli di rete
- In molte LAN le due reti convivono. Come?
- il campo lung. trama può assumere valori 0-1500
- il campo protocol valori >1500



58

Fast Ethernet

- Recentemente il protocollo 802.3 è stato esteso per ottenere velocità in linea di 100 Mbit/s, con i vincoli però che la trama MAC e le regole che la determinano restassero le stesse in modo da facilitare l'interoperabilità fra spezzoni di rete a velocità diverse.
- Poiché il protocollo d'accesso CSMA-CD impone un rapporto costante fra il tempo di trasmissione della minima trama e il massimo ritardo di propagazione sulla rete, riducendosi il primo per via dell'aumento di velocità di linea occorre ridurre anche il secondo.

59

Fast Ethernet

- Dunque, anche con solo uno spezzone di rete a 100 Mbit/s, la rete totale non può superare un'estensione massima di circa 250 m, cosa accettabile visto che comunque anche la 10BaseT prevede tratte d'utente non più lunghe di 100 m.
- Naturalmente, una tale variazione di velocità cambia pesantemente lo strato fisico.
- Questo standard ha due varianti, la prima 100Base4T prevista per funzionare con i vecchi cavi di categoria 3 adatti alla 10BaseT, e la seconda, 100BaseX prevista per cavi di categoria 5 e fibra (100BaseTX e 100BaseFX).

60

Giga Ethernet

- Alla fine del 1998 è giunto a conclusione il lavoro di definizione del protocollo 802.3z, noto come Gigabit Ethernet.
- Il nuovo standard prevede sia il funzionamento tipico CSMA-CD su mezzi di tipo condiviso basato su una configurazione a stella e su repeater, sia un tipo di funzionamento punto-punto full duplex che non presenta problemi di accesso
- Per ora lo standard prevede il funzionamento su un livello fisico che usa fibre ottiche, multimodo e monomodo, e cavo schermato. In futuro è prevista l'estensione dello standard a cavo UTP di categoria 5.

61

Giga Ethernet

- Per evitare di ridurre ulteriormente il massimo diametro consentito per la rete, che mantenendo le regole della rete a 10 e 100 Mb/s si ridurrebbe a 20 m., si è deciso di mantenere le dimensioni della rete a 100 Mbit/s e di aumentare di 10 volte la dimensione della trama di lunghezza minima.
- Ciò complica la connessione di spezzoni a velocità diversa a livello 2, in quanto i bridge dovrebbero riformattare completamente la trama.
- Ad evitare il problema di è trovata un'ingegnosa soluzione, ossia la tecnica nota come carrier extension.

62

Giga Ethernet

- La soluzione consiste nell'aumentare la dimensione dello slot, ossia la minima lunghezza in cui è presente attività di trasmissione sul canale, da 512 bit a 512 byte, ma mantenendo la minima lunghezza di trama di 512 bit.
- Se alla fine della trasmissione della trama questa risulta di lunghezza inferiore a 512 byte, si continua la trasmissione con una sequenza particolare di simboli di canale, noti come Carrier Extension (CE) fino a che la minima lunghezza dello slot viene raggiunta.