



**UNICAM**  
UNIVERSITÀ DI CAMERINO

**Laurea  
in  
INFORMATICA**

INTERNET RETI e SICUREZZA A.A. 2024/2025  
Capitolo 5 – Data Link e LAN  
Fausto Marcantoni  
fausto.marcantoni@unicam.it

1



**Dichiarazione di copyright**

*L'utilizzo dei contenuti della lezione sono riservati alla fruizione personale degli studenti iscritti di corsi dell'Università di Camerino. Sono vietate la diffusione intera o parziale di video o immagini della lezione, nonché la modifica dei contenuti senza il consenso, espresso per iscritto, del titolare o dei titolari dei diritti d'autore e di immagine.*

**Copyright notice**

*The contents of this lesson are subject to copyright and intended only for personal use by students enrolled in courses offered by the University of Camerino. For this reason, any partial or total reproduction, adaptation, modification and/or transformation of the contents of this lesson, by any means, without the prior written authorization of the copyright owner, is strictly prohibited.*



**Fausto Marcantoni** Chapter 1 INTERNET e Reti di Calcolatori **1.2**

2

Reti di elaboratori

## LOCAL AREA NETWORK (LAN)

- È un sistema di comunicazione che permette ad apparecchiature indipendenti di comunicare tra di loro entro un'area delimitata utilizzando un canale fisico a velocità elevata e con basso tasso di errore. [*definizione IEEE*]

Le trasmissioni locali sono tipicamente a burst

La velocità richiesta è elevata

Mezzo trasmissivo condiviso da tutti gli utenti

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.3

3

Reti di elaboratori

## Caratteristiche di una LAN

- Hanno sempre **un solo canale trasmissivo** ad **alta velocità condiviso** nel tempo da tutti i sistemi collegati
- Quando un sistema trasmette **diventa proprietario temporaneamente** dell'intera capacità trasmissiva della rete
- La trasmissione è sempre di tipo broadcast
- Alcune complicazioni:
  - È necessaria la presenza di indirizzi
  - Occorre arbitrare l'accesso all'unico mezzo trasmissivo (protocolli di reti locali)

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.4

4

Reti di elaboratori

## Attributi di una LAN

- **Affidabilità:** tecnologia consolidata
- **Flessibilità:**
  - LAN di soli PC o integrazione PC-Mainframe
  - supporto simultaneo di più architetture di rete tra di loro incompatibili ai livelli più alti
- **Modularità:** componenti standard di molti costruttori perfettamente interscambiabili
- **Espandibilità:** secondo le esigenze dell'utente, facilitata da una accurata progettazione a priori
- **Gestibilità:** tramite protocolli di management (SNMP)

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.5

5

Reti di elaboratori

## Elementi Principali

```

graph TD
    A[ELEMENTI PRINCIPALI] --> B[PROTOCOLLI STANDARD]
    A --> C[CABLAGGIO STRUTTURATO]
    B --> D[IEEE 802]
    C --> E[EIA/TIA 568]
    C --> F[ISO/IEC 11801]
  
```

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.6

6

Reti di elaboratori

## IEEE 802




IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee

<http://www.ieee802.org/>

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.7

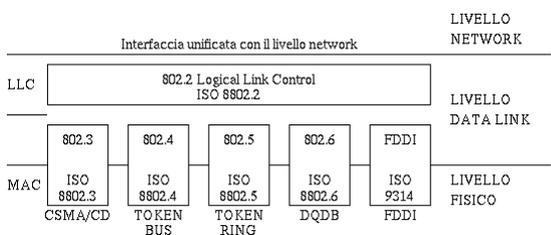
7

Reti di elaboratori

## Il modello di rete locale IEEE 802

IEEE 802 ha suddiviso il livello Data-Link in due sottolivelli:

- ✓ **LLC: Logical Link Control** comune a tutte le LAN ed è l'interfaccia unificata verso il livello network.
- ✓ **MAC: Media Access Control** specifico per ogni LAN e risolve il problema della condivisione del mezzo trasmissivo.



The diagram illustrates the IEEE 802 network model. At the top is the 'LIVELLO NETWORK' (Network Level), which interfaces with the 'LIVELLO DATA LINK' (Data Link Level) through a unified interface. The Data Link Level is divided into two sub-levels: LLC (Logical Link Control, ISO 8802.2) and MAC (Media Access Control). The MAC level is further divided into five sub-levels: 802.3 (CSMA/CD), 802.4 (TOKEN BUS), 802.5 (TOKEN RING), 802.6 (DQDB), and FDDI (FDDI). The Physical Level (LIVELLO FISICO) is represented by the specific protocols: ISO 8802.3, ISO 8802.4, ISO 8802.5, ISO 8802.6, and FDDI.

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.8

8

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue;">Il modello di rete locale IEEE 802</h2>
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ <b>Nelle LAN il livello MAC realizza sempre una rete di tipo broadcast</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>❑ <b>Il broadcast può essere realizzato:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ con topologie intrinsecamente broadcast quali il bus</li> <li>✓ con topologie punto a punto quali l'anello</li> </ul> </li> </ul> </li>   <li>❑ <b>I canali trasmissivi sono sufficientemente affidabili e non è necessario in genere correggere gli errori a livello MAC</b></li>   <li>❑ <b>Risolve il problema della condivisione del mezzo trasmissivo quali la contesa, il token, la prenotazione, il round robin.</b></li> </ul> </div>	
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN
5.9	

9

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue;">Gli standard IEEE</h2>
<div style="border: 1px solid blue; padding: 10px;"> <p>Quando le LAN iniziarono a diffondersi l'IEEE decise di costituire <b>sei comitati</b> per studiare il problema della standardizzazione della LAN e delle MAN, complessivamente raccolti nel progetto IEEE 802; tali comitati sono: → <a href="http://www.ieee802.org/">http://www.ieee802.org/</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•802.1 Higher Layer and Management;</li> <li>•<b>802.2 Logical Link Control;</b></li> <li>•<b>802.3 CSMA/CD</b> (Carrier Sense Multiple Access, Collision Detection)</li> <li>•802.4 Token Bus;</li> <li>•802.5 Token-Ring;</li> <li>•802.6 Metropolitan Area Network - DQDB (Distributed Queue, Dual Bus)</li> </ul> <p>A tali comitati se ne sono aggiunti altri tra cui:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•802.7 Broadband technical advisory group;</li> <li>•802.8 Fiber-optic technical advisory group;</li> <li>•802.9 Integrated data and Voice networks;</li> <li>•802.10 Network Security;</li> <li>•<b>802.11 Wireless Network;</b></li> <li>•802.12 100baseVG;</li> <li>•802.13 100baseX;</li> </ul> </div>	
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN
5.10	

10

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue; margin: 0;">The IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee</h2> <h3 style="color: black; margin: 0;"><i>IEEE 802 LMSC</i></h3> <p><b>IEEE 802 Working Groups and Study Groups</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">802.1</a> Higher Layer LAN Protocols Working Group</li> <li>• <a href="#">802.3</a> Ethernet Working Group</li> <li>• <a href="#">802.11</a> Wireless LAN Working Group</li> <li>• <a href="#">802.15</a> Wireless Specialty Network (WSN) Working Group</li> <li>• <a href="#">802.18</a> Radio Regulatory TAG</li> <li>• <a href="#">802.19</a> Wireless Coexistence Working Group</li> <li>• <a href="#">802.24</a> Vertical Applications TAG</li> <li>• <a href="#">List</a> of Hibernating and Disbanded Working Groups and Study Groups</li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN	11

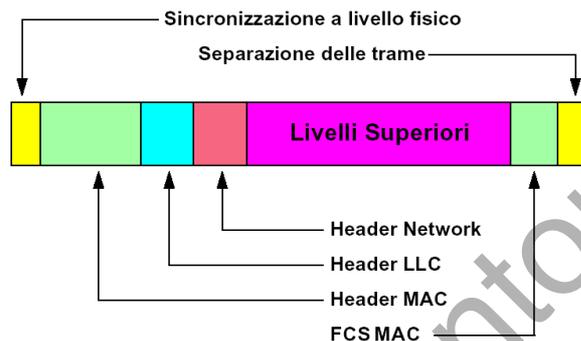
11

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue; margin: 0;">The IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee</h2> <p><b>Hibernating Working Groups</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">802.16</a> Broadband Wireless Access Working Group</li> <li>• <a href="#">802.21</a> Media Independent Handover Services Working Group</li> <li>• <a href="#">802.22</a> Wireless Regional Area Networks</li> </ul> <p><b>Disbanded Working Groups and Study Groups</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">802.2</a> Logical Link Control Working Group</li> <li>• 802.4 Token Bus Working Group (material no longer available on this web site)</li> <li>• <a href="#">802.5</a> Token Ring Working Group</li> <li>• 802.6 Metropolitan Area Network Working Group (material no longer available on this web site)</li> <li>• 802.7 Broadband TAG (material no longer available on this web site)</li> <li>• 802.8 Fiber Optic TAG (material no longer available on this web site)</li> <li>• 802.9 Integrated Services LAN Working Group (material no longer available on this web site)</li> <li>• 802.10 Security Working Group (material no longer available on this web site)</li> <li>• 802.12 Demand Priority Working Group (material no longer available on this web site)</li> <li>• 802.14 Cable Modem Working Group (material no longer available on this web site)</li> <li>• <a href="#">802.17</a> Resilient Packet Ring Working Group</li> <li>• <a href="#">802.20</a> Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) Working Group</li> <li>• <a href="#">802.23</a> Emergency Services Working Group</li> <li>• QOS/FC Executive Committee Study Group (material no longer available on this web site)</li> <li>• EC SG TVWS TV Whitespace study group (<a href="#">Document archive</a>)</li> <li>• <a href="#">ES-ECSCG</a> Emergency Services Executive Committee Study Group</li> <li>• <a href="#">OmniRAN</a> EC Study Group</li> <li>• <a href="#">Privacy Recommendation</a> EC Study Group</li> <li>• <a href="#">802.5G/IMT-2020</a> EC Standing Committee</li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN	12

12

## LA TRAMA NELLE LAN

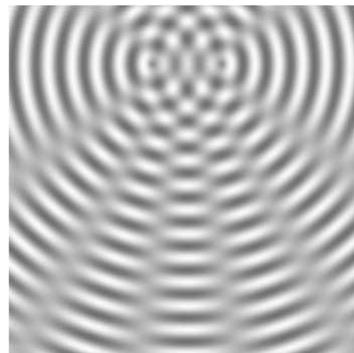
- Non esiste uno standard sul formato dei pacchetti
- Ogni singola tecnologia stabilisce i dettagli dell'esatta forma di dato in un pacchetto
- FRAME è in generale il pacchetto usato da una particolare tipo di rete



13

## ERRORI DI TRASMISSIONE

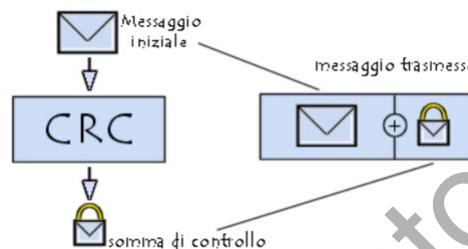
- La maggiore complessità delle reti deriva dal fatto che i sistemi di trasmissione sono soggetti a **fenomeni di interferenza** in grado di generare dati casuali e di modificare o distruggere dati in transito
- Le tecniche di rilevazione degli errori comprendono tutte una aggiunta di una piccola quantità di informazione dipendente dai dati da trasmettere



14

## CONTROLLO TRASMISSIONE

- CONTROLLO DI PARITA'
  - Se i dati contengono un numero pari di bit 1 il bit di parità è 0; altrimenti è 1
- SOMME DI CONTROLLO
  - Si fa la somma dei bit da trasmettere
- CONTROLLO A RIDONDANZA CICLICA (CRC)
  - Rileva un numero di errori maggiori senza appesantire le informazioni di controllo



<http://www.dizionarioinformatico.com/cgi-lib/diz.cgi?frame&key=crc>

15

## collegamento: punto a punto e broadcast

### 2 tipi di collegamento: punto a punto e broadcast

**Collegamento punto a punto** → costituito da un trasmittente a un'estremità del collegamento e da un unico ricevente all'altra

**Collegamento broadcast** → più nodi trasmittenti e riceventi connessi allo stesso canale broadcast condiviso

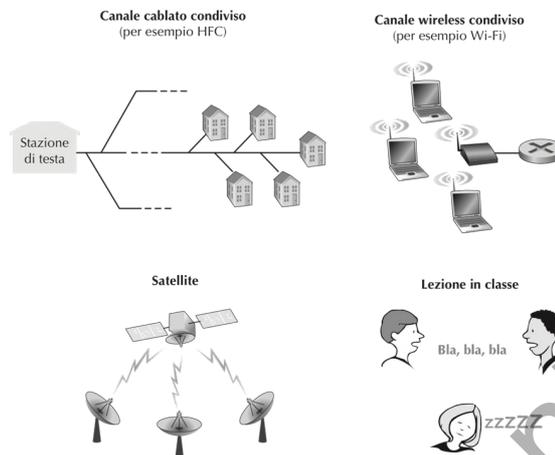
**Problema dell'accesso multiplo** → come **coordinare l'accesso** di più nodi trasmittenti e riceventi in un canale broadcast condiviso

**Protocolli ad accesso multiplo** → richiesti in un'ampia varietà di configurazioni di rete, comprese le *LAN cablate*, quelle *wireless* e le *reti satellitari*

16

## Protocolli ad accesso multiplo

**Protocolli ad accesso multiplo** → richiesti in un'ampia varietà di configurazioni di rete, comprese le *LAN cablate*, quelle *wireless* e le *reti satellitari*



17

## protocolli ad accesso multiplo

I protocolli ad accesso multiplo sono suddivisibili nelle seguenti categorie:

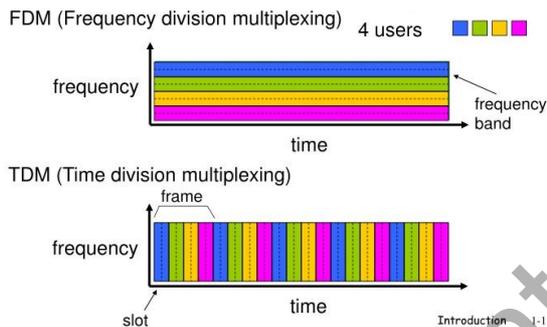
- Protocolli a suddivisione del canale  
(*channel partitioning protocol*)  
TDM (*time division multiplexing*) e FDM (*frequency division multiplexing*)
- Protocolli ad accesso casuale  
(*random access protocol*)  
Slotted ALOHA
- Protocolli a rotazione  
(*taking-turn protocol*)  
Protocollo polling - Protocollo token-passing

18

## protocolli ad accesso multiplo

- Protocolli a suddivisione del canale  
(channel partitioning protocol)

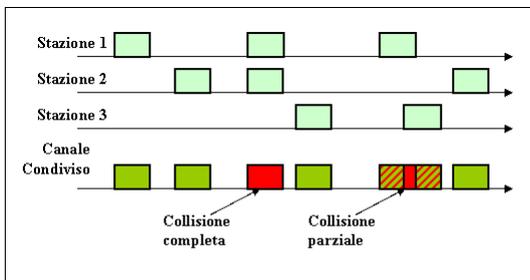
TDM (time division multiplexing) e FDM (frequency division multiplexing)



## protocolli ad accesso multiplo

- Protocolli ad accesso casuale  
(random access protocol)

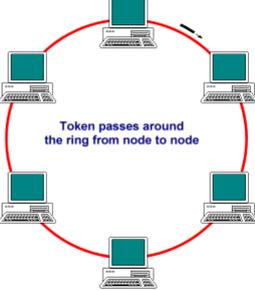
Slotted ALOHA



Reti di elaboratori

## protocolli ad accesso multiplo

- ❑ Protocolli a rotazione  
(*taking-turn protocol*)  
*Protocollo polling - Protocollo token-passing*



Token passes around the ring from node to node

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.21

21

Reti di elaboratori

## tecniche di allocazione del canale trasmissivo

tecniche di allocazione del canale trasmissivo

- **allocazione statica**
  - il mezzo trasmissivo viene "*partizionato*" e ogni porzione viene data alle diverse sorgenti
  - il partizionamento può avvenire in base:
    - **al tempo**: ogni sorgente ha a disposizione il mezzo per un determinato periodo
    - **alla frequenza**: ogni sorgente ha a disposizione una determinata frequenza (si pensi alle stazioni radiofoniche ove il canale trasmissivo è l'aria...)
- **allocazione dinamica**
  - il canale viene **assegnato di volta in volta** a chi ne fa richiesta e può essere utilizzato una volta che questi ha finito di usarlo e lo libera

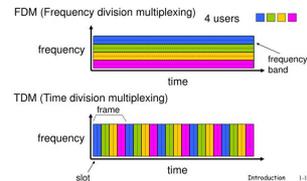
Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.22

22

## Allocazione statica

### Allocazione statica

Frequency Division Multiplexing FDM  
Time Division Multiplexing TDM



- ✓ Buona efficienza in situazioni di pochi utenti con molto carico costante nel tempo
- ✓ Scarsa efficienza di utilizzo delle risorse trasmissive, le risorse dedicate agli utenti "momentaneamente silenziosi" sono perse

## Allocazione dinamica

### Allocazione dinamica

Il canale trasmissivo può essere assegnato:

- **a turno**
  - ✓ viene distribuito il "permesso" di trasmettere; la durata viene decisa dalla sorgente
- **a contesa**
  - ✓ ciascuna sorgente prova a trasmettere indipendentemente dalle altre

Nel primo caso si presuppone la presenza di meccanismi per l'assegnazione del permesso di trasmettere → overhead di gestione

Nel secondo caso non sono previsti meccanismi particolari  
→ sorgente e destinazione sono il più semplici possibile

I protocolli che gestiscono la trasmissione a contesa sono generalmente i più utilizzati

Reti di elaboratori

## Frame - Trama

### *Che cosa trasmetto a livello MAC*

A livello MAC si definisce:

- il formato della trama o frame, assemblando o disassemblando i dati con l'indirizzo sorgente e destinazione
- il campo per il controllo degli errori
- si controlla la lunghezza minima
- si effettua un minimo controllo di errore con lo scarto dei frame errati.

**Frame - Trama**

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.25

25

Reti di elaboratori

## Framing

- Il livello 2 riceve dal livello superiore (network) dei pacchetti
- Considerando che:
  - la lunghezza dei pacchetti (di livello 3) e delle corrispondenti trame (livello 2) è variabile
  - i sistemi non sono sincronizzati tra loro, ovvero non hanno un orologio comune che segna la stessa ora per tutti
  - il livello 1 tratta solo bit, e quindi non è in grado di distinguere se un bit appartiene ad una trama o a quella successiva
- ... nasce il problema della **delimitazione delle trame**
- La funzionalità di *framing* (frame = trama) è dunque di rendere distinguibile una trama dall'altra attraverso l'utilizzo di opportuni **codici all'inizio** e alla **fine** della trama stessa

Livello network

Livello data-link

Livello fisico

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 26

26

Reti di elaboratori

## Struttura della generica frame

Synchronization Field	Address Field	Control Field	Data Field	Error Check Field
-----------------------	---------------	---------------	------------	-------------------

**Synchronization Field:** Consente di distinguere l'inizio e la fine di una frame, mediante l'uso di opportuni pattern di bit.

**Address Field:** Contiene l'indirizzo del destinatario e del mittente.

**Control Field:** Contiene una serie di informazioni di controllo utilizzate per il controllo di sequenza e di flusso.

**Data Field:** Contiene un pacchetto del Network Layer.

**Error Check Field:** Contiene una sequenza di byte utilizzati per la rilevazione di errore presenti nella frame.

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 27

27

Reti di elaboratori

## MAC PDU (FRAME)

- I campi principali di una MAC PDU sono:
  - Gli indirizzi SAP: (Service Access Point) univoci a livello mondiale:
    - DSAP: Destination SAP
    - SSAP: Source SAP
  - La PDU contenente i dati
  - La FCS (Frame Control Sequence): un CRC su 32 bit per il controllo dell'integrità della trama

header	Payload o Data Area	FCS	
DSAP	SSAP	PDU del livello LLC	CRC

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.28

28

Reti di elaboratori

L'unità di informazione (MAC PDU) del livello data link è detta **trama o frame** e permette di separare il flusso dei dati in **unità più piccole** e quindi più facilmente controllabili di dimensione variabile, nello standard originario, **tra i 64 e i 1518 byte**.

8 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	46 - 1500 Bytes	4 Bytes
Preamble	Destination Address	Source Address	Type	Data	Frame Check Sequence

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.29

29

Reti di elaboratori

### Tipologia di frame Ethernet

Ethernet II  
 Ethernet 802.3raw  
 Ethernet IEEE 802.3  
 Ethernet IEEE 802.3 SNAP  
 VLAN 802.1q –Ethernet II Tagged e IEEE 802.3 Tagged

Sequenza di bit 1010101010...		Frame Ethernet 64 Byte - 1518 Byte					Inter Frame Gap 9,6 µs
Preambolo 8 Byte	SFD	Indirizzo di destinazione 6 Byte	Indirizzo sorgente 6 Byte	Tipo 2 Byte	Dati 46 - 1500 Byte	FCS 4 Byte	

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.30

30

Reti di elaboratori		Tipologia di frame Ethernet										
Sequenza di bit 101010...	Sequenza di bit 10101011	Frame Ethernet 64 Byte - 1518 Byte										Inter Frame Gap
Preambolo 8 Byte	SFD	Indirizzo di destinazione 6 Byte	Indirizzo sorgente 6 Byte	Lunghezza 2 Byte	0xFFFF 2 Byte	Dati 44 - 1498 Byte			FCS 4 Byte		9,6 µs	
Sequenza di bit 101010...	Sequenza di bit 10101011	Frame Ethernet 64 Byte - 1518 Byte										Inter Frame Gap
Preambolo 8 Byte	SFD	Indirizzo di destinazione 6 Byte	Indirizzo sorgente 6 Byte	Lunghezza 2 Byte	DSAP 1 Byte	SSAP 1 Byte	Controllo 1 Byte	Dati 42 - 1497 Byte		FCS 4 Byte	9,6 µs	
Fausto Marcantoni		Chapter 5 Data Link e LAN										5.31

31

Reti di elaboratori		Tipologia di frame Ethernet										
Sequenza di bit 101010...	Sequenza di bit 10101011	Frame Ethernet 64 Byte - 1518 Byte										Inter Frame Gap
Preambolo 8 Byte	SFD	Indirizzo di destinazione e 6 Byte	Indirizzo sorgente 6 Byte	Tipo 2 Byte	DSAP 0xAA	SSAP 0xAA	Controllo 0x03	SNAP 5 Byte	Dati 38 - 1492 Byte		FCS 4 Byte	9,6 µs
Sequenza di bit 101010...	Sequenza di bit 10101011	Frame Ethernet 68 Byte - 1522 Byte										Inter Frame Gap
Preambolo 8 Byte	SFD	Indirizzo di destinazione e 6 Byte	Indirizzo sorgente 6 Byte	Tag 4 Byte	Lunghezza 2 Byte	DSAP 1 Byte	SSAP 1 Byte	Controllo 1 Byte	Dati 42- 1497 Byte		FCS 4 Byte	9,6 µs
Fausto Marcantoni		Chapter 5 Data Link e LAN										5.32

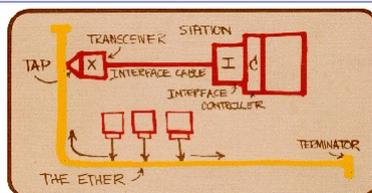
32

## componenti dei frame Ethernet

Componente	Dimensioni	Funzione/i
(PreamboloStart Frame Delimiter (SFD))	(8 byte)	Sincronizzazione dei riceventiSequenza di bit che avvia il frame
Indirizzo di destinazione (MAC)	6 byte	Indirizzo hardware della scheda di rete di destinazione
Indirizzo sorgente (MAC)	6 byte	Indirizzo hardware della scheda di rete di origine
Tag	4 byte	Tag VLAN opzionale per l'integrazione in reti VLAN (IEEE 802.1q)
Tipo	2 byte	Ethernet II: etichettatura dei protocolli di livello 3
Lunghezza	2 byte	Informazioni sulla lunghezza del record
Destination Service Access Point (DSAP)	1 byte	Indirizzo individuale del punto di accesso al servizio indirizzato
Source Service Access Point (SSAP)	1 byte	Indirizzo sorgente del dispositivo di invio
Controllo	1 byte	Definisce il frame LLC (Logical Link)
SNAP	5 byte	Campo per la definizione dell'Organizationally Unique Identifier (OUI) del produttore e del numero di protocollo (come "type")
Dati	44-1.500 byte	Dati da trasmettere
Frame Check Sequence (FCS)	4 byte	Checksum che calcola l'intero frame
(Inter Frame Gap (IFS))	-	Interruzione di trasmissione di 9,6 $\mu$ s

## IEEE 802.3 CSMA-CD

- Topologia: bus
- Cablaggio: bus, stella
- Arbitraggio del canale trasmissivo: tramite contesa
- Tipologia del protocollo: non deterministico, cioè ad accesso casuale
- Velocità Trasmissiva: 10 Mb/s
- Throughput massimo o efficienza del canale (quando tutti gli elementi della rete trasmettono): 4Mb/s
- Evoluzione della rete Ethernet proposta da Digital, Intel, Xerox (DIX)
- IEEE 802.3u: versione a 100 Mb/s



*The diagram ... was drawn by Dr. Robert M. Metcalfe in 1976 to present Ethernet ... to the National Computer Conference in June of that year.*

## Ethernet

### Ethernet = la tecnologia per LAN cablate più diffusa

#### Ragioni del successo:

- ✓ prima LAN ad alta velocità con vasta diffusione
- ✓ token ring, FDDI e ATM sono molto più complesse e costose
- ✓ Ethernet commutata (*switched Ethernet*) ha apportato un significativo incremento dei tassi trasmissivi
- ✓ componenti hardware (in particolare, schede di rete e switch) siano facilmente reperibili ed economiche.

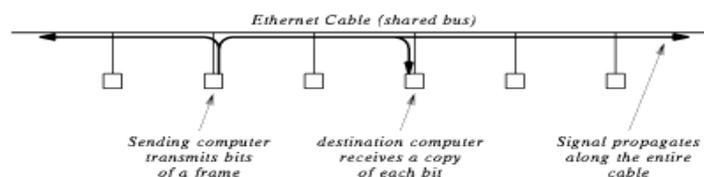
Ethernet con **topologia a bus** è una LAN broadcast → **tutti i frame trasmessi sono elaborati da tutte le schede di rete collegate al bus.**

**Hub** = dispositivo a livello fisico che agisce sui singoli bit, piuttosto che sui frame

Ethernet con topologia a stella basata su hub è anch'essa una LAN broadcast → ogniqualevolta l'hub riceve un bit da una delle sue interfacce, ne manda una copia a tutte le altre

## Topologia a bus

- Un solo lungo cavo al quale sono collegati i computer
- L'interruzione del cavo principale blocca la rete
- Bisogna regolare gli accessi al bus
  - Mentre un mittente trasmette un frame ad un destinatario gli altri calcolatori devono aspettare
- Il segnale trasmesso dal mittente si propaga in entrambe le direzioni lungo tutto il bus



Reti di elaboratori

## Il protocollo ALOHA

### Slotted ALOHA

Consente a un singolo nodo di trasmettere continuamente pacchetti alla massima velocità del canale, **quando è il solo nodo attivo**.

The diagram shows three nodes (Nodo 1, 2, 3) and a timeline of slots. Node 1 has packets in slots 1, 4, 8, and 11. Node 2 has packets in slots 2 and 3. Node 3 has packets in slots 7 and 10. The timeline below shows the results: Slot 1 is a collision (C), Slot 2 is successful (V), Slot 3 is successful (V), Slot 4 is a collision (C), Slot 5 is idle (I), Slot 6 is idle (I), Slot 7 is successful (V), Slot 8 is successful (V), Slot 9 is idle (I), Slot 10 is successful (V), Slot 11 is successful (V), Slot 12 is idle (I), Slot 13 is idle (I), Slot 14 is idle (I), Slot 15 is idle (I).

Legenda: C = Slot di collisione  
I = Slot inutilizzato  
V = Slot riuscito

I nodi 1, 2 e 3 collidono nel primo slot. Il nodo 2 riesce a trasmettere nel quarto slot, il nodo 1 nell'ottavo e il nodo 3 nel nono

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.37

37

Reti di elaboratori

## Il protocollo ALOHA

- **Slotted ALOHA**. Fortemente decentralizzato, in quanto ciascun nodo rileva le collisioni e **decide indipendentemente quando ritrasmettere**, anche se è comunque necessario che gli slot siano sincronizzati ai nodi.
- Slotted ALOHA richiede che tutti i nodi **sincronizzino le loro trasmissioni** a partire dall'inizio di uno slot.
- Il primo protocollo ALOHA (**ALOHA puro**) era in realtà un **protocollo privo di slot**, completamente decentralizzato.
- Nel protocollo ALOHA puro, appena arriva un frame il nodo lo trasmette immediatamente e integralmente nel canale broadcast.
- Se un frame va in collisione, allora il nodo lo ritrasmette immediatamente con probabilità  $p$ . Altrimenti, attenderà il tempo di trasmissione del frame

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.38

38

Reti di elaboratori

## CSMA/CD

la regola: "Ascolta, prima di parlare e mentre parli"

- una stazione che desidera emettere **ascolta** se il canale è occupato da una emissione precedente;
- se il canale è **libero**, la stazione trasmette;

A causa dei ritardi di propagazione il protocollo CSMA è soggetto a **collisioni**

La stazione che trasmette se rivela una collisione, interrompe l'emissione; si esegue poi l'algoritmo di subentro per decidere quando deve essere riemessa la MAC-PDU andata in collisione

Il protocollo deve gestire due problemi connessi alla **reiterazione dei tentativi di accesso**

- in presenza di canale occupato
- a seguito di collisioni

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.39

39

Reti di elaboratori

## Coordinamento della trasmissione

- Per coordinare le trasmissioni, Ethernet sente se c'è "corrente" nel bus
- Protocollo distribuito di controllo

**Carrier Sense Multiple Access (CSMA)**

- Multiple access: molti computer sono connessi ed ognuno può trasmettere
- Carrier sense : il computer prima di trasmettere testa il mezzo trasmissivo per vedere se c'è portante

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.40

40

Reti di elaboratori

## Collisioni

- Più postazioni possono simultaneamente inviare dati
- I segnali interferiranno quando raggiungono lo stesso punto nel bus
- L'interferenza (collisione) non causa danni fisici ma impedisce la trasmissione

Il computer A invia i dati

collisione

Il computer E invia i dati prima che il segnale lo raggiunga

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.41

41

Reti di elaboratori

## Rilevamento delle collisioni (back-off)

- Controllo dei segnali in transito
  - Se il segnale del bus differisce da quello trasmesso significa che siamo in presenza di collisione (**Collision Detect**) [CD]
  - Interruzione della trasmissione trasmettendo un particolare segnale (**jamming**) in modo tale che tutte le stazioni vengono messe a conoscenza dell'avvenuta collisione
- Ripresa della trasmissione dopo un **tempo di attesa scelto a caso** sino ad un tempo massimo per evitare il ripetersi della collisione
- Per evitare una catena di collisioni si richiede che a fronte di **due collisioni consecutive si raddoppi il tempo di attesa** massimo e così via

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.42

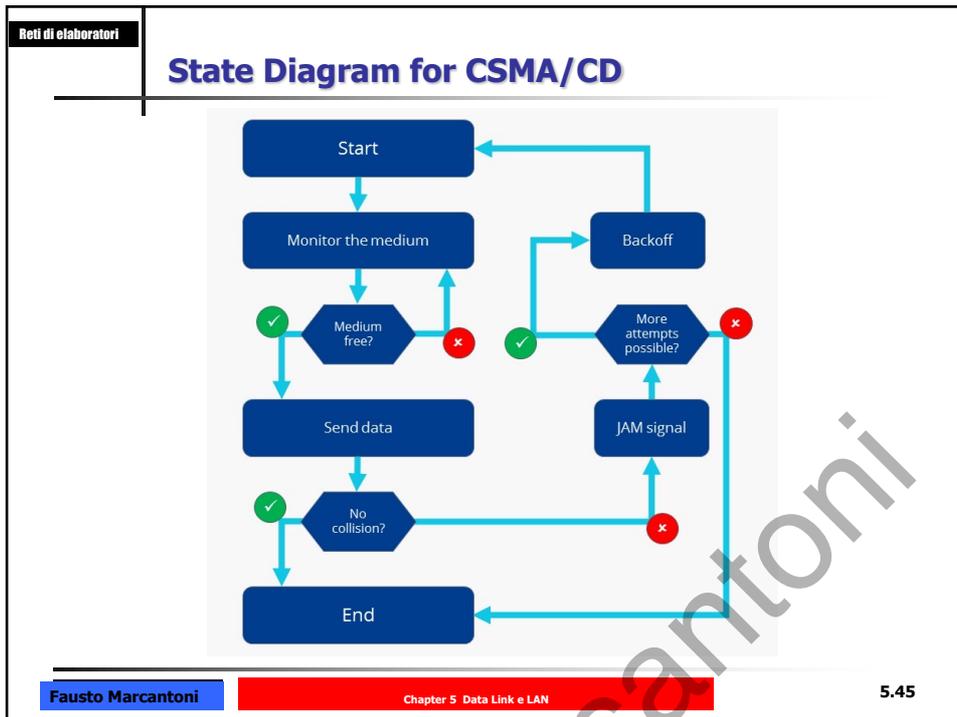
42

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue; margin: 0;">tempo di attesa scelto a caso</h2>
<p style="color: red; margin: 10px 0;"><b>Exponential Backoff: tempo di attesa scelto a caso</b></p> <p>Obiettivo: algoritmo per adattare i successivi tentativi di ri-trasmissione al carico corrente della rete in presenza di sovraccarico il tempo d'attesa casuale sarà maggiore:</p> <p>prima collisione: scegli K tra {0,1}; il ritardo di trasmissione è pari ad un intervallo <math>K \times 512</math> bit (pari a 51.2 <math>\mu</math>sec)</p> <p>dopo la seconda collisione: scegli K tra {0,1,2,3}...</p> <p>dopo 10 o più collisioni, scegli K tra {0,1,2,3,4,...,1023}</p>	
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN
5.43	

43

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue; margin: 0;">JAM SIGNAL</h2>
<p>Quando una collisione è riconosciuta da una stazione trasmittente, una sequenza di bit chiamata jam viene trasmessa.</p> <p>La sequenza di jam è di 32 bit, che è abbastanza lunga da percorrere tutto il <b>dominio di collisione</b> in modo che tutte le stazioni possano rilevare la collisione.</p> <p>E' interessante notare che il formato attuale del segnale di jam è specificato in 802.3</p> <p>La maggior parte dei produttori hanno utilizzato alternando 1 e 0 jam, che viene visualizzato come 0x5 (0101) o 0xA (1010).</p> <p>In molte implementazioni Fast Ethernet, il jam è stato visto come altri valori arbitrari, come 1101000 (0xD0) o 10000110 (0x43).</p> <p>La motivazione di questa particolare jam pattern non è molto evidente (?)</p> <p><a href="https://www.quora.com/What-is-jamming-signal" style="color: red; text-decoration: underline;">https://www.quora.com/What-is-jamming-signal</a></p>	
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN
5.44	

44



45

Reti di elaboratori

### Domini di broadcast e domini di collisione

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.

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.46

46

Reti di elaboratori

## Specifiche del protocollo CSMA/CD

- Il tempo necessario per rilevare una collisione non è mai superiore al doppio del ritardo di propagazione più lungo
- Definito dal parametro adimensionale "a"
- Più **a** è piccolo e maggiore è l'efficienza (minore banda sprecata)
- Il pacchetto deve avere una lunghezza minima (64 byte) ed il bus una lunghezza massima (500 mt)

$$a = \frac{\text{ritardo di propagazione}}{\text{tempo di trasmissione dei pacchetti}} = \frac{\text{lunghezza collegamento}}{\text{lunghezza pacchetto}}$$

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.47

47

Reti di elaboratori

## Formato dei frame

Intestazione del frame      CARICO o BLOCCO DATI

Lunghezza fissa      Lunghezza variabile

header      Payload o Data Area

**FRAME ETHERNET**

preambolo	Indirizzo del destinatario	Indirizzo mittente	Lunghezza	DATI	CRC
8	6	6	2	46 - 1500	4

intestazione      carico

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.48

48

**Reti di elaboratori**

## Frame Ethernet

Sequenza di bit 1010101010...		Frame Ethernet 68 Byte - 1522 Byte						Inter Frame Gap
Preambolo 8 Byte	SFD	Indirizzo di destinazione 6 Byte	Indirizzo sorgente 6 Byte	Tag 4 Byte	Tipo 2 Byte	Dati 46 - 1500 Byte	FCS 4 Byte	9,6 $\mu$ s

(Preambolo/Start Frame Delimiter (SFD))	(8 byte)	Sincronizzazione dei ricevitori Sequenza di bit che avvia il frame
Indirizzo di destinazione (MAC)	6 byte	Indirizzo hardware della scheda di rete di destinazione
Indirizzo sorgente (MAC)	6 byte	Indirizzo hardware della scheda di rete di origine
Tag	4 byte	Tag VLAN opzionale per l'integrazione in reti VLAN (IEEE 802.1q)
Tipo	2 byte	Ethernet II: etichettatura dei protocolli di livello 3
Dati	46-1522 byte	Payload Dati
Source Service Access Point (SSAP)	1 byte	Indirizzo sorgente del dispositivo di invio
Frame Check Sequence (FCS)	4 byte	Checksum che calcola l'intero frame
(Inter Frame Gap (IFS))	-	Interruzione di trasmissione di 9,6 $\mu$ s

**Fausto Marcantoni**
Chapter 4 Protocolli di rete ed instradamento
**4.49**

49

**Reti di elaboratori**

## Formato dei frame: preambolo

- Preambolo + Starting Frame Delimiter
- si tratta di una sequenza di 7 byte di segnali 10101010 (preambolo)
- seguiti da un byte con la sequenza 10101011 (SFD)
- in trasmissione il MAC aggiunge il preambolo, in ricezione lo rimuove.
- il preambolo serve per permettere alle stazioni in ricezione di sincronizzarsi sul segnale di clock della stazione trasmittente.

**Fausto Marcantoni**
Chapter 5 Data Link e LAN
**5.50**

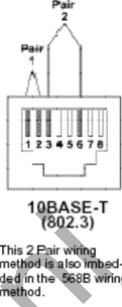
50

Reti di elaboratori

## Ethernet 10BaseT

Specifica di livello fisico dello standard IEEE 802.3, caratterizzata da:

- velocità di trasmissione di **10 Mbps** in **banda base**
- **due doppiini intrecciati non schermati** (*UTP*, Unshielded Twisted Pair) di **categoria 3**, di derivazione telefonica.
- collegamenti fisici punto-punto, e quindi consente **collegamenti fisici a stella**
- attraverso dispositivi intermedi come hub, bridge e switch è possibile ottenere topologie logiche a bus, a stella e ad albero.
- connettori sono di derivazione telefonica (tipo RJ-45), molto pratici, anche se meno affidabili dei connettori BNC
- I singoli tratti del cablaggio non **possono superare i 100 metri**



10BASE-T (802.3)  
This 2 Pair wiring method is also implemented in the 568B wiring method.

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.51

51

Reti di elaboratori

## Fast Ethernet

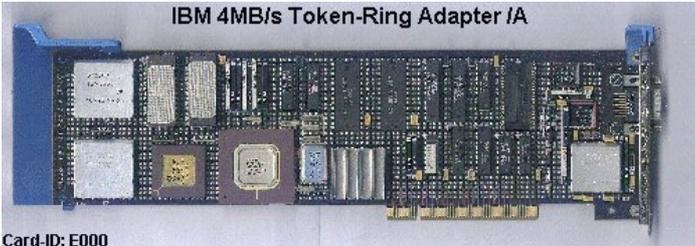
- IEEE 802.3u detto anche 100BASE-T
  - evoluzione di Ethernet 802.3 10BASE-T
  - Velocità dieci volte superiore : Data Rate 100Mb/s
  - Distanze inferiori (100m)
    - 200m sono sufficienti per cablare a stella attorno ad un HUB una rete di 100m di raggio (200m di diametro)
  - Tre sotto-standard per tre tipi di mezzi fisici:
    - 100BASE-T4 (doppino, su 4 coppie)
    - 100BASE-TX (doppino, su 2 coppie)
    - 100BASE-FX (fibra ottica)
  - Mantiene il vecchio algoritmo CSMA/CD implementato con successo su 10baseT:
    - 70.000.000 di nodi installati
    - 30.000.000 di nodi venduti ogni anno
    - più di 200 produttori
- Ethernet 10/100 (retrocompatibilità)

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.52

52

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Gigabit Ethernet</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Standard denominato IEEE 802.3z che rappresenta una evoluzione di Ethernet</li> <li>■ Offre i vantaggi tipici di Ethernet: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ semplicità del metodo di accesso CSMA/CD</li> <li>■ alta scalabilità tra le diverse velocità di trasmissione</li> <li>■ Permette di velocizzare le moltissime LAN Ethernet già esistenti con costi contenuti tramite: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ sostituzione degli apparati di rete (hub, switch, moduli, interfacce)</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>■ Fornisce una banda di 1 Gb/sec.</li> <li>■ Utilizzo : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ realizzazione di backbone ad alte prestazioni per collegare ripetitori e switch: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ in sostituzione dei backbone Fast Ethernet</li> <li>■ in sostituzione ad una backbone FDDI</li> </ul> </li> <li>■ connessione di server a 1Gb/s</li> </ul> </li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN
5.53	

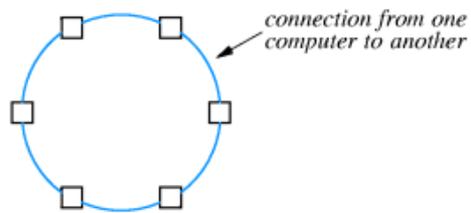
53

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">IEEE 802.5 TOKEN RING</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>Topologia: anello</b></li> <li>■ <b>Cablaggio: stella</b></li> <li>■ <b>Arbitraggio del canale trasmissivo: token</b></li> <li>■ <b>Velocità Trasmissiva: 4 o 16 Mb/s</b></li> <li>■ <b>Throughput massimo: 3 o 12 Mb/s</b></li> <li>■ <b>Rete proposta da IBM in alternativa a Ethernet</b></li> </ul>	
 <p style="text-align: center;">IBM 4MB/s Token-Ring Adapter IA</p> <p style="text-align: center;">Card-ID: E000</p>	
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN
5.54	

54

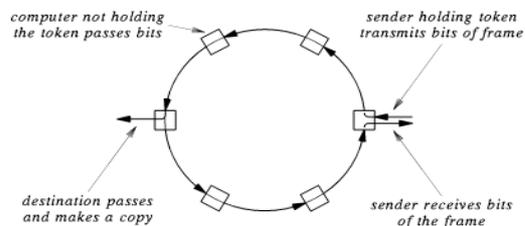
## Topologia ad anello

- Semplifica il coordinamento degli accessi
- Semplifica l'individuazione di eventuali malfunzionamenti
- Il guasto di un elemento porta al blocco della rete



## Tecnologia TOKEN RING

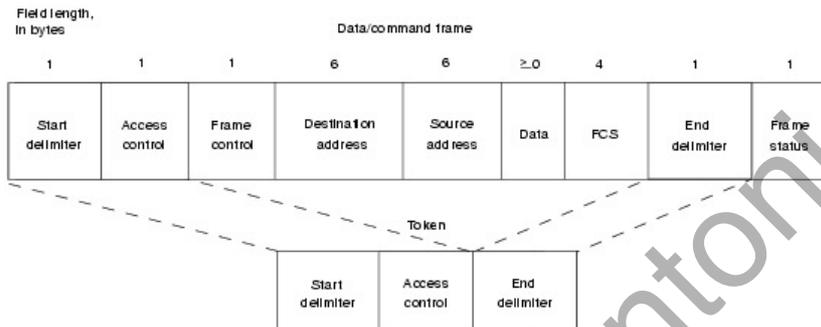
- Il mittente deve attendere il permesso (token)
- Una volta ottenuto il permesso ha il completo controllo del mezzo
- I dati passano da stazione a stazione sino a ritornare dal mittente
- Il destinatario al passaggio del frame ne fa una copia



## Tecnologia TOKEN RING: Frame Format

### Frame Format

Token Ring e IEEE 802.5 supportano due tipi di frame di base: **token** e **frame di dati/comando**. I token hanno una lunghezza di 3-byte e sono costituiti da **un delimitatore di inizio, un byte di controllo dell'accesso e un delimitatore di fine**. Le dimensioni dei frame di dati/comando variano a seconda delle dimensioni del campo Informazioni. I frame di dati trasportano informazioni per i protocolli di livello superiore, mentre i frame di comando contengono informazioni di controllo e non hanno dati per i protocolli di livello superiore.

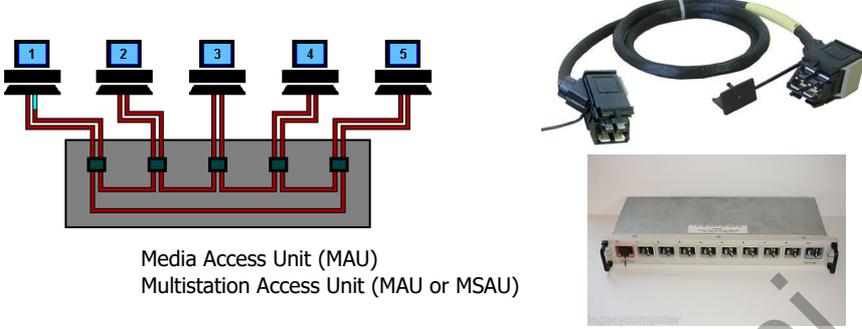


## TOKEN PASS (passaggio del testimone)

- Per ottenere il permesso si usa un particolare messaggio (TOKEN) costituito da una sequenza di bit da non confondere con la frame
  - Il mittente attende l'arrivo del token
  - Se ne impossessa e trasmette il frame
  - Rimette il token nell'anello
- Questo protocollo assicura che tutti i computer della rete trasmetteranno a turno (**metodo equo**)
- La gestione del token è demandata all'hardware della rete

**Reti di elaboratori**

## Accesso fisico TOKEN



Media Access Unit (MAU)  
Multistation Access Unit (MAU or MSAU)

Una rete TOKEN RING è logicamente un anello, ma per ragioni di semplicità di cablaggio deve essere cablata come un stella o un doppio anello

**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN 5.59

59

**Reti di elaboratori**

## ISO 9314 Fiber Distributed Data Interface (FDDI)

- Topologia: anello
- Cablaggio: anello o stella
- Arbitraggio del canale trasmissivo: token
- Velocità Trasmissiva: 100 Mb/s
- Throughput massimo: 80 Mb/s
- Primo standard per reti locali concepito per operare su fibra ottica

**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN 5.60

60

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Tecnologia FDDI (Fiber Distributed Data Interface)</h2>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Utilizza <b>due anelli indipendenti</b> che si connettono a ciascun computer             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Negli anelli il flusso dei dati passa in direzione opposta su ciascuno di essi (anelli controrotanti)</li> </ul> </li> </ul>	<p>(a)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nel caso di un fermo di una stazione, le stazioni adiacenti             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ rilevano la caduta del collegamento</li> <li>■ provvedono ad inoltrare o a ricevere i dati mediante l'anello interno</li> <li>■ modificano la topologia della rete in modo da isolare il guasto</li> </ul> </li> <li>■ Una rete FDDI è una <b>rete autoriparante</b></li> </ul>		
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN	5.61

61

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Reti Wireless</h2>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Reti Wired:</b> Sistemi di comunicazione che utilizzano un supporto fisico (cavi e fibre ottiche) per la trasmissione del segnale informativo.</li> <li>● <b>Reti Wireless:</b> Sistemi di comunicazione in cui i segnali viaggiano nell'aria via infrarosso o utilizzando le Radio Frequenze (RF).</li> </ul> <p><b>Alternativa al cablaggio strutturato</b></p> <p>la tecnologia delle "<b>reti senza filo</b>" utilizza onde radio per realizzare collegamenti tra le stazioni di lavoro.</p> <p>Per allestire una rete wireless è necessario disporre di un apparato centrale (Access Point), e schede di rete wireless da inserire sulle singole stazioni di lavoro.</p>		
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN	5.62

62

Reti di elaboratori

## IEEE 802.11 WIRELESS

- Standard per LAN senza fili
- Fenomeno fisico: onde radio o infrarosso
- Arbitraggio del canale trasmissivo: vari algoritmi adottati
- Velocità Trasmissiva: 11-54-108 ... 300 Mb/s
- Lo standard è piuttosto complesso poiché deve considerare:
  - problematiche di propagazione
  - occupazione delle frequenze
  - inaffidabilità del canale trasmissivo
  - potenza ridotta
  - sicurezza



Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.63

63

Reti di elaboratori

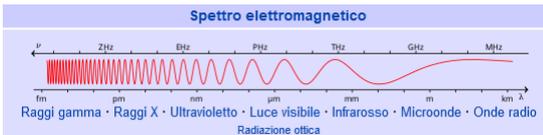
## Aspetti radio: bande di frequenza ISM

I dispositivi per le reti Wlan operano all'interno delle bande di frequenza definite come **ISM** (*Industrial Scientific and Medical*) utilizzando una modulazione a dispersione di spettro.

Le reti della famiglia 802.11 utilizzano principalmente, **una tecnologia Radio (RF)** per il livello fisico, piuttosto che una **tecnologia a raggi infrarossi (IrDa)**.

Le frequenze **ISM** sono suddivise in tre range differenti e sono state autorizzate dalla FCC nel 1980 per prodotti di rete wireless. (Inizialmente queste frequenze erano riservate al solo uso militare).

- **900 MHz** [902 – 928 MHz]
- **2,4 GHz** [2,4 – 2,4835 GHz] - *IEEE 802.11b*
- **5 GHz** [5,15 – 5,35 e 5,725 – 5,825 GHz] - *IEEE802.11a Hiperlan/2 nota come Banda UNI.*



Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 64

64

Reti di elaboratori

## Frequenze espresse in MHz

### Tecnologia Wireless

#### Frequenze espresse in MHz

Channel ID	US/Canada	Europe	France	Spain	Japan
1	2412	2412	-	-	2412
2	2417	2417	-	-	2417
3	2422	2422	-	-	2422
4	2427	2427	-	-	2427
5	2432	2432	-	-	2432
6	2437	2437	-	-	2437
7	2442	2442	-	-	2442
8	2447	2447	-	-	2447
9	2452	2452	-	-	2452
10	2457	2457	2457	2457	2457
11	2462	2462	2462	2462	2462
12	-	2467	2467	-	2467
13	-	2472	2472	-	2472
14	-	-	-	-	2484

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.65

65

Reti di elaboratori

## Standard IEEE 802.11

Standard	Descrizione
802.11	<ul style="list-style-type: none"> <li>Specifica base che definisce i concetti di trasmissione per le reti wireless</li> </ul>
802.11a	<ul style="list-style-type: none"> <li>Velocità di trasmissione fino a 54 Mbps</li> <li>Range di frequenza 5 Ghz</li> <li>Ottima velocità, poche interferenze, non compatibile</li> </ul>
802.11b	<ul style="list-style-type: none"> <li>Velocità di trasmissione fino a 11 Mbps</li> <li>Range di frequenza 2,4 Ghz</li> <li>Minor velocità, possibili interferenze, basso costo</li> </ul>
802.11g	<ul style="list-style-type: none"> <li>Velocità di trasmissione fino a 54 Mbps</li> <li>Range di frequenza 2,4 Ghz</li> <li>Ottima velocità, possibili interferenze, compatibile .11b</li> </ul>
802.11i	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stabilisce processi standard di autenticazione e crittazione sulle reti wireless</li> </ul>

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.66

66

**Reti di elaboratori**

## 802.11 - velocità

Riepilogo del protocollo Wi-Fi IEEE 802.11

Protocollo	Frequenza	Larghezza canale	Velocità massima di trasferimento dati (teorica)
802.11ax	2,4 o 5 GHz	20, 40, 80, 160 MHz	2,4 Gbps
802.11ac wave2	5 GHz	20, 40, 80, 160 MHz	1,73 Gbps
802.11ac wave1	5 GHz	20, 40, 80 MHz	866,7 Mbps
802.11n	2,4 o 5 GHz	20, 40 MHz	450 Mbps
802.11g	2,4 GHz	20 MHz	54 Mbps
802.11a	5 GHz	20 MHz	54 Mbps
802.11b	2,4 GHz	20 MHz	11 Mbps
Legacy 802.11	2,4 GHz	20 MHz	2 Mbps

**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.67**

67

**Reti di elaboratori**

## 802.11 - distanza

Standard	Anno di uscita	Frequenza (GHz)	Velocità	Gamma (interna)	Portata (all'aperto)
802.11	1997	2.4	2Mbps	20m	100m
802.11a	1999	5	1.5-54Mbps	35m	120/5000m
802.11b	1999	2.4	11Mbps	35m	120m
802.11g	2003	2.4	54Mbps	38m	140m
802.11n	2009	2.4/5	600Mbps	70m	250m
802.11ac	2013	2.4/5	450/1300Mbps	35m	-
802.11ax	2019	2.4/5	10-15Gbps	30m	120m

**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **68**

68

Reti di elaboratori	<h2>Limitazioni IEEE 802.11</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Distanza           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 50 m distanza dall'access-point</li> <li>■ 130 – 450 m massima distanza all'aperto e senza disturbi</li> </ul> </li> <li>■ Interferenza strutturale           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Più è grande la densità delle sostanze, più piano le onde elettromagnetiche si propagano attraverso di esse.</li> </ul> </li> <li>■ Interferenze da altri sorgenti           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ interferenze da Bluetooth® dispositivi wireless, telefoni cordless, forni a microonde, interfon per neonati e altri dispositivi domestici.</li> </ul> </li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN
5.69	

69

Reti di elaboratori	
<p><b>Radio Lan - banda di frequenze (Mhz 2.400 – 2.483,5)</b>          Uso collettivo per usi civili da reti locali ad <u>uso privato</u> mediante apparati a <b>corto raggio</b> per la trasmissione dati a larga banda. Tali utilizzazioni non devono causare interferenze con i servizi della rete fissa e non possono pretendere protezione da questi collegamenti.</p> <p><b>HIPERLAN - banda di frequenze (Mhz 5.150 – 5.350)</b>          Uso collettivo per <u>usi civili</u> a corto raggio per la trasmissione dati ad alta velocità <b>all'interno di edifici</b>. Tali utilizzazioni non devono causare interferenze con i servizi della rete fissa e non possono pretendere protezione da questi collegamenti.</p> <p><b>D.I. n. 381</b> 10 settembre 1998 ... <b>frequenze compatibili</b> con la <b>salute</b> umana ... comprese tra <b>3 Mhz e 300 GHz</b>.  <a href="https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1998/11/03/098G0430/sg">https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1998/11/03/098G0430/sg</a></p>	
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN
70	

70

## Wi-Fi 2,4 GHz e 5 GHz

### Problemi di Frequenza

La prima differenza è la più banale. Le due reti operano a frequenze diverse, quindi **non interferiscono l'un l'altro**.

Le reti a 2.4 GHz soffrono spesso di interferenze, specie nei grandi centri urbani (dove è facile trovare nello stesso palazzo anche 10-15 reti 2,4 GHz).

**Passando ai 5 GHz troveremo meno reti nei paraggi** (anche se sono in continuo aumento) e con minori interferenze.

## Wi-Fi 2,4 GHz e 5 GHz

### Velocità

La velocità dipende dallo standard di trasmissione utilizzato sulle reti 2.4 GHz e 5 GHz.

#### Standard IEEE 802.11n

Se utilizziamo lo **standard IEEE 802.11n** potremo andare ad un **massimo di 300 Mbps** sia su rete a 2.4 GHz sia su rete a 5 GHz.

**Lo standard 802.11n è disponibile su entrambe le frequenze.**

Per offrire la massima velocità sullo standard 802.11n è necessario utilizzare un canale "più largo". Tecnicamente i canali WiFi sui 2.4 GHz hanno un'ampiezza di banda di 20 MHz, per una velocità massima di 150 Mbps.

**Per ottenere i 300 Mbps verrà sfruttato un canale con ampiezza di banda di 40 MHz.**

**Usare i 40 MHz su reti a 2,4 GHz viola le direttive dello standard**

**IEEE** perché crea un sacco di interferenze con le reti WiFi presenti sugli altri canali 2,4 GHz, facendo rallentare la propria rete e quella degli altri. Molti router infatti utilizzano i canali a 40 MHz sui 2,4 GHz **solo se non ci sono reti nelle vicinanze**, tornando a 20 MHz in automatico (meccanismo di coesistenza).

**Su rete a 5 GHz il problema non si pone:** possiamo utilizzare senza problemi i canali a 40 MHz per ottenere i 300 Mbps.

## Wi-Fi 2,4 GHz e 5 GHz

### Velocità

La velocità dipende dallo standard di trasmissione utilizzato sulle reti 2.4 GHz e 5 GHz.

#### Standard IEEE 802.11ac

Se utilizziamo lo standard **IEEE 802.11ac saremo automaticamente su rete a 5 GHz**: questo standard funziona solo su questa frequenza di rete. I canali possono avere ampiezza di banda di 40, 80 o 160 MHz e possono offrire una **velocità massima di 2340 Mbps**.

Le velocità elevate spesso pubblicizzate sui router (2600 Mbps) non nascono dalla velocità ottenibile con lo standard IEEE 802.11ac, ma prende in esame lo scenario in cui un dispositivo compatibile Dual Band possa agganciarsi contemporaneamente ad una rete 2,4 GHz e 5 GHz, sfruttando due canali di comunicazione. In tal caso le velocità si sommano: 300 Mbps sui 2,4 GHz e 2340 Mbps sui 5 GHz.

## Wi-Fi 2,4 GHz e 5 GHz

### Copertura

**La rete a 2,4 GHz offre la migliore copertura**, superando anche ostacoli e muri (non troppo spessi) e comprendo un massimo di 130 metri (all'aperto) o 50 metri (al chiuso). Questi valori sono fortemente variabili: basta un altro elettrodomestico wireless o dei muri spessi per tagliare la copertura del segnale fino a 30 metri o meno.

**La rete a 5 GHz per natura offre una copertura limitata**, avendo questa frequenza scarsa capacità di penetrare ostacoli e muri (anche non troppo spessi). Non meravigliatevi quindi se la rete a 5 GHz (benché più veloce) **difficilmente offrirà una copertura oltre i 20 metri**. Può essere quindi sfruttata in una sola stanza o in due stanze vicine con muri non troppo spessi.

Proprio perché la copertura non è elevata la rete a 5 GHz soffre pochissimo le interferenze, visto che è estremamente difficile che possa collidere con un'altra rete a 5 GHz se copre al massimo una sola stanza

## Wi-Fi 2,4 GHz e 5 GHz

### Qual è la migliore rete tra Wi-Fi 2,4 GHz e 5 GHz?

*"The answer, my friend, is blowin' in the wind"*

Possiamo sfruttare la copertura delle reti a 2,4 GHz per:

- navigare su internet
- collegare smartphone e tablet
- visionare la posta o i messaggi
- guardare un video su YouTube

Possiamo sfruttare la rete a 5 GHz per:

- giocare online
- guardare un video in FullHD sul TV
- Sfruttare il 4K
- per trasferire una grande quantità di dati tra dispositivi a 5 GHz

## Scheda di rete wireless

Si tratta di un dispositivo che permette al computer di colloquiare con la rete.

Le schede di rete (NIC - Network Interface Card ) sono generalmente installate all'interno del PC.

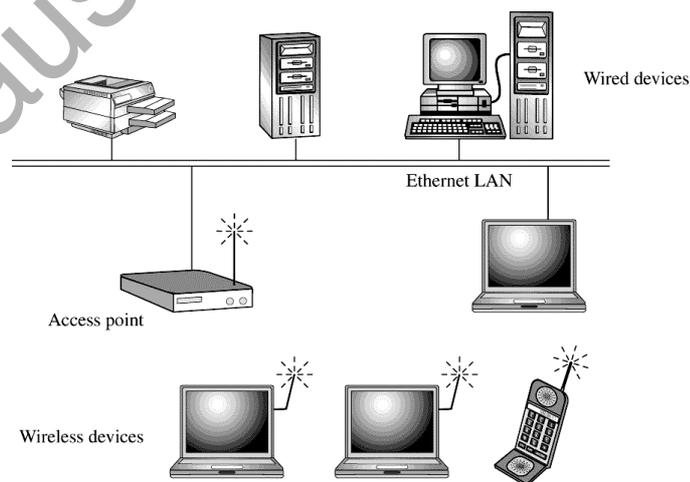


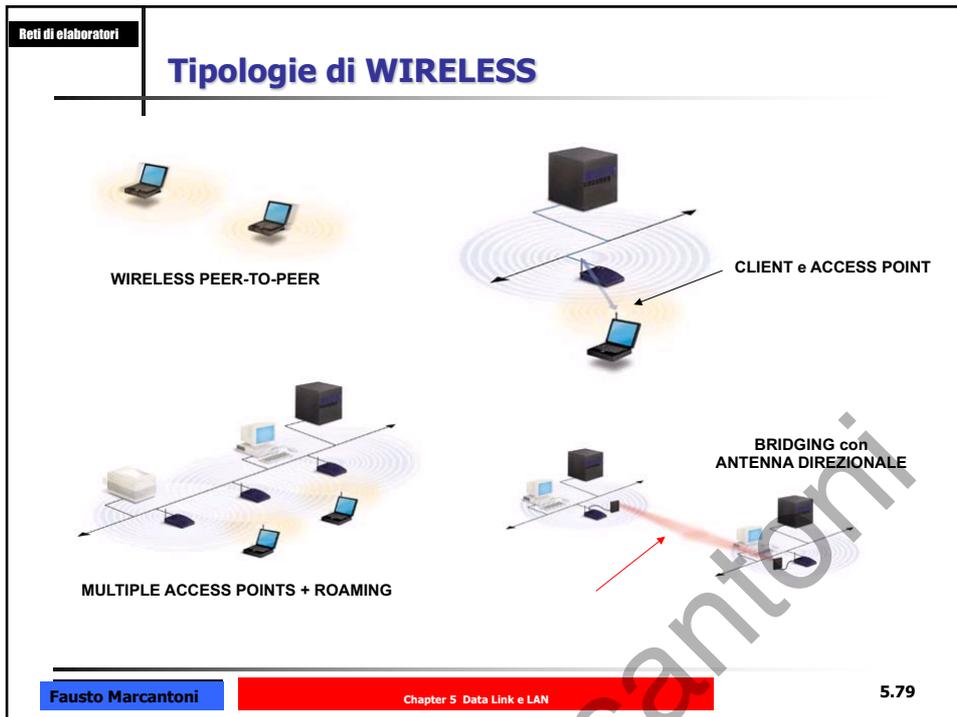
## Scheda di rete wireless

I computer portatili dotati di tecnologia Intel Centrino<sup>®</sup> integrano al loro interno (di solito ai lati del display) l'antenna di trasmissione/ricezione e la scheda 802.11b/g.

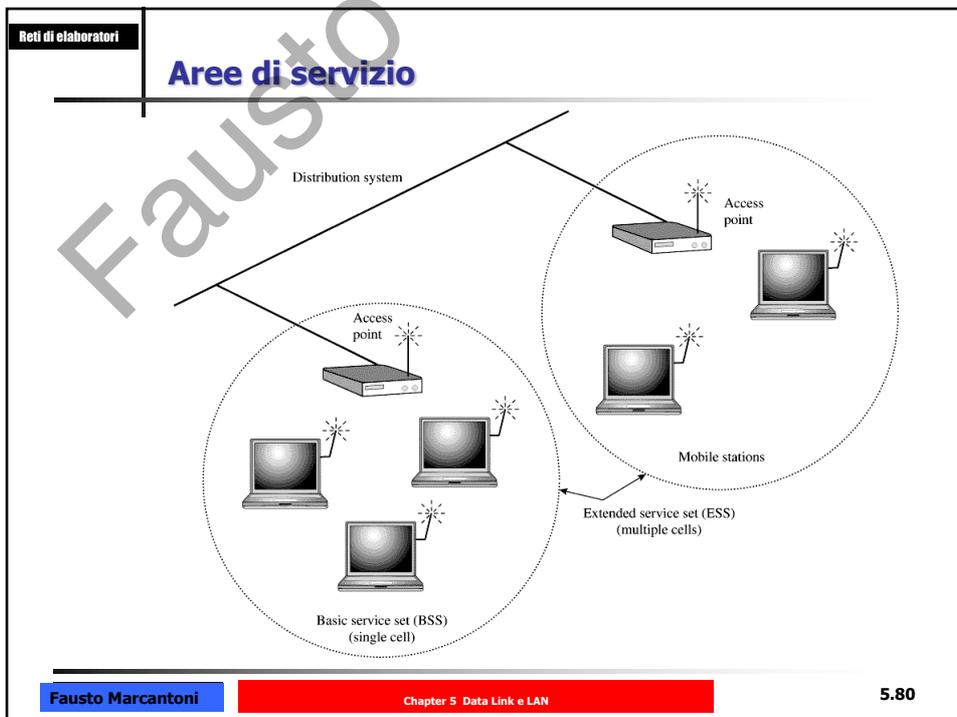


## Tecnologia WLAN

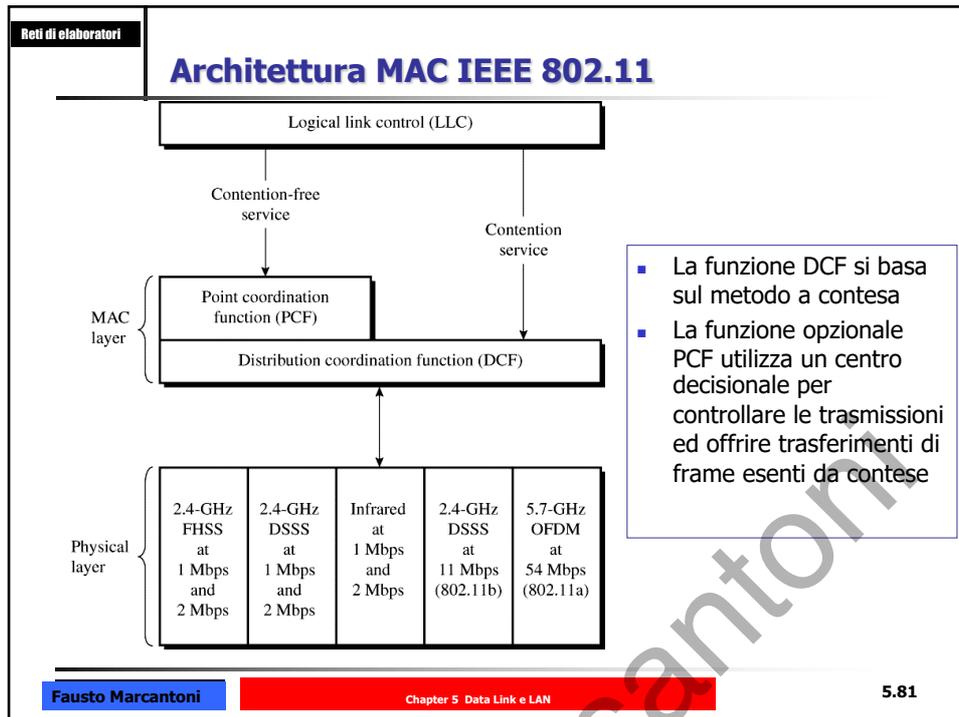




79



80



81

**Reti di elaboratori**

## Sicurezza

Open System e Shared Key authentication  
 WEP - Wired Equivalent Privacy  
 WPA - Wi-Fi Protected Access (WPA2 → Advanced Encryption Standard (AES))  
 Other Security Measures  
 Content Filtering  
 Network Partitioning

802.1X - uno standard che definisce un meccanismo di controllo delle autenticazioni e degli accessi ad una rete e, come opzione, definisce un meccanismo di gestione delle chiavi usate per proteggere il traffico

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.82

82

## Open System - Shared Key

### Qual è la differenza tra Open System e Shared Key authentication?

L'**autenticazione** è il processo che svolge un controllo di sicurezza sul client che richiede l'accesso a una rete wireless.

Lo standard 802.11b supporta questi due metodi di autenticazione, anche se a volte sono inclusi altri metodi proprietari, ma non interoperabili.

**Open System Authentication:** può anche essere chiamata "Non autenticazione", permette a chiunque di accedere alla rete senza effettuare nessun controllo di sicurezza.

**Shared Key Authentication:** client e Access Point possiedono la stessa chiave WEP. WEP deve essere abilitato sia sull'AP che sul client.

## Confidenzialità con WEP

Protocollo 802.11 progettato per dare sicurezza ai dati in transito su reti wireless (...ma poco sicuro!!!)

Fornisce le seguenti caratteristiche crittografiche:

- Crittazione dei dati
- Integrità dei dati

Oggi si usano 2 standard WEP :

- Static WEP: difficile da gestire e facilmente perforabile con strumenti di attacco liberamente disponibili
- Dynamic WEP: miglior sicurezza dello static WEP, ma da usare solo come soluzione temporanea, **meglio implementare WPA o WPA2**

## Confidenzialità con WPA

WPA e WPA2 forniscono le seguenti caratteristiche crittografiche:

- Crittazione dei dati, usati con gli standard di autenticazione 802.1X
- Integrità dei dati
- Protezione da attacchi di tipo "replay"
- Operano a livello MAC (Media Access Control)

## Autenticazione con WPA e WPA2

WPA e WPA2, molto simili ma differenti per motivi storici, sono il risultato riuscito del tentativo di colmare le lacune del progenitore WEP. WPA è stato rilasciato dalla Wi-Fi Alliance nella fretta di rendere sicura una wireless nel più breve tempo possibile, mentre l'802.11i o WPA2 è da intendersi oggi giorno come standard ufficiale.

Per l'**autenticazione** degli host, WPA e WPA2 prevedono due modalità:

**enterprise**, mediante server di autenticazione RADIUS (WPA-RADIUS e WPA2/RADIUS o semplicemente WPA e WPA2 rispettivamente), che distribuisce differenti chiavi agli utenti

**personal**, tramite una (unica) chiave segreta condivisa, chiamata pre-shared key (PSK, da cui WPA/PSK e WPA2/PSK rispettivamente), modalità di gran lunga più adatta per ambienti di small office e casalinghi come suggerito dallo stesso nome

## WPA - TKIP

WPA utilizza **TKIP (Temporal Key Integrity Protocol)**, protocollo **crittografico** che a sua volta utilizza RC4, analogamente al WEP, ma con chiavi a 128 bit ed un vettore di inizializzazione (IV) a 48bit.

WPA inoltre utilizza un sistema di "firma" del payload più sofisticato e sicuro che quanto utilizzato dal WEP

**RC4** è un algoritmo crittografico creato nel 1987 da *Ron Rivest*, uno dei padri fondatori della **RSA Security**. Rimase un segreto industriale fino a 1994 quando un anonimo benefattore pubblicò in formato anonimo l'algoritmo sul famigerato NG sci.crypt. Questa versione di **RC4** venne rinominata subito ARC4, se vi piace potete leggerla *Arcfour*, la *A* sta per *alleged* ovvero "presunto", dal momento che la RSA in effetti non ha mai rilasciato l'algoritmo in maniera ufficiale. La seconda ragione è semplicemente che **RC4** è un marchio registrato di RSA, per cui si è pensato bene di usare un nome libero da royalties.

<http://it.wikipedia.org/wiki/RC4>

## Server Radius

### Che cos'è RADIUS e come funziona

RADIUS è un protocollo che regola i meccanismi di autenticazione di un utente che accede ad una LAN da un computer remoto.

Le parti che costituiscono l'architettura RADIUS sono un server di accesso alla rete, comunemente indicato con la sigla NAS (Network Access Server) e un server che si occupa di effettuare l'autenticazione dell'utente sulla rete, il server RADIUS appunto.

Solitamente il NAS è un "router" dedicato in grado di commutare vari ingressi, ed è collegato direttamente al server RADIUS che si occupa di controllare il pacchetto contenente le credenziali di accesso dell'utente (**username e password**). Tali credenziali vengono confrontate con quelle esistenti in un database relativamente all'utente: in caso di matching l'utente autenticato può accedere ai servizi della rete, in caso contrario il protocollo prevede la notifica di un messaggio di errore.

La comunicazione fra il NAS ed il server RADIUS è **crittografata** usando una chiave segreta condivisa da entrambi (secret key) che deve essere opportunamente creata sia sul NAS che sul server RADIUS e mantenuta riservata.

Uno dei compiti del NAS può essere quello di assegnare al client remoto, dopo l'avvenuta convalida delle credenziali di accesso alla rete dell'utente, un indirizzo IP compatibile con il range di IP disponibili (il NAS spesso **funge da server DHCP**, funzionalità questa integrata in molti **router** presenti sul mercato). I protocolli di autenticazione dell'utente remoto sul server RADIUS sono PAP (password authentication protocol) e CHAP (challenge handshake authentication protocol).

Il database delle utenze che fornisce il servizio di backend come supporto al server RADIUS può essere sia un semplice file di testo (ad es il file `/etc/passwd` di UNIX) sia un DB dedicato come LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) o un altro database (PostgreSQL, MySQL).

Reti di elaboratori

## WPA3

1. Maggiore sicurezza durante l'utilizzo delle reti WiFi pubbliche  
WPA3 permette la **cifratura individuale** dei dati: ogniqualvolta ci si conatterà a una WiFi pubblica, tutto il traffico scambiato tra il singolo dispositivo e l'access point verrà crittografato, anche se non fosse stato richiesto l'inserimento di una password al momento della connessione (rete aperta).
2. Migliore protezione contro gli attacchi brute force  
WPA3 stabilisce una modalità nuova per l'effettuazione **dell'handshake, robusta** e impossibile da forzare come avvenuto nel caso di KRACK.
3. Connessione più semplice e veloce per i dispositivi WiFi sprovvisti di display (Easy Connect)  
Si pensi a dispositivi come Google Home e Amazon Echo ma anche alle videocamere wireless, agli elettrodomestici di nuova generazione, a tutti i dispositivi per la domotica e la smart home, ai device che appartengono al mondo **dell'Internet delle Cose (IoT)**.
4. Un maggior livello di sicurezza per le applicazioni industriali  
Da ultimo, WPA3 abbraccia una suite per la **sicurezza a 192 bit** che renderà l'utilizzo del nuovo protocollo adatto per tutte le applicazioni in cui la riservatezza dei dati è aspetto essenziale.

<https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/security>  
[https://www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/WPA3\\_Specification\\_v1.0.pdf](https://www.wi-fi.org/download.php?file=/sites/default/files/private/WPA3_Specification_v1.0.pdf)

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.89

89

Reti di elaboratori

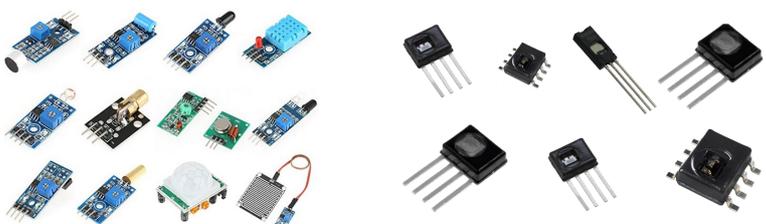
## Sensori

Un sensore è un dispositivo elettronico, caratterizzato da:

- o dimensioni ridotte; basso costo; basso consumo energetico (alimentati a batteria);
- o limitata capacità di elaborazione (ossia di rivelazione e trattamento dei dati);
- o capacità di comunicazione (cioè è in grado di scambiare dati con altri sensori).

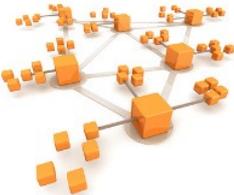
Scopo fondamentale di un sensore:

- o rilevare una qualche grandezza d'interesse, come temperatura, umidità, pressione, livello d'illuminazione, velocità, direzione, dimensioni, sforzi di taglio, ecc.



Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.90

90

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue; margin: 0;">Rete di sensori</h2>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una rete di sensori (wireless sensor networks - WSN):             <ul style="list-style-type: none"> <li>• è costituita da un numero molto <b>elevato di nodi sensore</b>;</li> <li>• ha lo scopo di <b>monitorare</b> un qualche fenomeno d'interesse;</li> <li>• è un caso particolare di <b>reti ad-hoc</b> (reti costruite per uno speciale scopo)</li> </ul> </li> </ul> <p>Una WSN è costituita da un insieme di nodi, ciascuno equipaggiato con uno o più <b>sensori e/o attuatori</b>, i quali sono in grado di scambiarsi dati utilizzando il <b>mezzo radio</b>, secondo ben definiti protocolli di comunicazione.</p>		
		
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN	5.91

91

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue; margin: 0;">WSN vs WLAN</h2>	
<h3 style="color: blue; margin: 0;">WSN vs WLAN</h3>		
<p>WSN:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ caratterizzate da più bassi data rates (poche centinaia di Kbit/sec vs. qualche centinaia di Mbit/sec)</li> <li>✓ nodi sensore caratterizzati da minori risorse energetiche</li> <li>✓ nodi sensore caratterizzati da minori capacità computazionali</li> <li>✓ WSN composte da un numero più elevato di nodi (migliaia di nodi vs. massimo qualche centinaia di nodi)</li> </ul>		
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN	5.92

92

## Sensori - caratteristiche

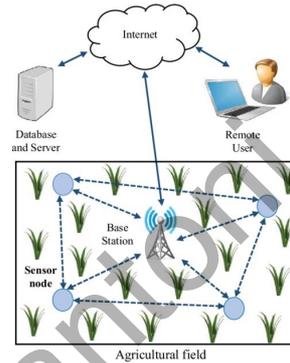
I sensori che compongono la rete, per le loro caratteristiche:

- possono essere **posizionati direttamente all'interno del fenomeno** che occorre monitorare o, qualora ciò non fosse possibile, comunque molto vicini ad esso;
- possono essere **posizionati all'interno dell'area di interesse** in maniera **deterministica** o in modo del tutto **casuale**.

Le reti di sensori possono essere utilizzate:

- per rilevazioni continue;**
- per rilevazioni event-driven**

(pilotate dal verificarsi di un determinato evento d'interesse).



## Possibili applicazioni delle reti di sensori

### Possibili applicazioni delle reti di sensori

Una rete di sensori può essere impiegata:

- per applicazioni militari
- controllo del territorio
- aiuto dei sistemi di targeting
- per il monitoraggio ambientale
- rilevamento di disastri naturali (incendi, inondazioni, terremoti, ecc.)
- studio delle abitudini comportamentali di animali ed insetti
- per applicazioni mediche
- monitoraggio delle funzioni fisiologiche dei pazienti
- localizzazione del personale medico nelle strutture ospedaliere
- gestione e somministrazione dei farmaci
- per la domotica
- controllo a distanza degli elettrodomestici e loro cooperazione
- per altre applicazioni commerciali
- gestione di archivi, magazzini, parcheggi, ecc.

## Livello di rete dei sensori

### I livello di rete si occupa principalmente del routing.

Il routing ha un ruolo importantissimo, dato che lo scopo di una WSN è quello di **convogliare tutti i dati** presenti rilevati da ogni sensore presente nella rete in un unico punto, il **sink o PAN Coordinator**, dove risiede un sistema in grado di **visualizzare i dati ricevuti** o di **inoltrarli verso reti** di altro tipo come ad esempio Internet.

Non sempre è possibile raggiungere il sink con una singola trasmissione perché il range di copertura di questa tecnologia è nell'ordine delle decine di metri, mentre alcune applicazioni possono prevedere il monitoraggio di aree molto più vaste.

Per raggiungere il sink con il minor costo energetico è necessario che i protocolli di routing individuino i cammini minimi tra i nodi e la destinazione finale.

## Come opera una rete di sensori radio

I sensori, equipaggiati con dispositivi in grado di rilevare la grandezza d'interesse, sono posizionati all'interno dell'area in cui si verifica il fenomeno che si vuole monitorare (o nelle sue vicinanze).

Le informazioni raccolte dai sensori vengono inviate verso un nodo specializzato (**dotato di elevate capacità di elaborazione** e chiamato SINK o PAN Coordinator o Gateway), per mezzo dell'utilizzo di un protocollo di instradamento di tipo multi-hop.

Il sink, a sua volta, invia le informazioni verso un centro di raccolta remoto via internet o via satellite, agendo, dunque, da gateway tra l'ambiente osservato e il mondo esterno.

## IEEE 802.15.4 e ZigBee

### Lo standard IEEE 802.15.4 e ZigBee

L'IEEE 802.15.4:

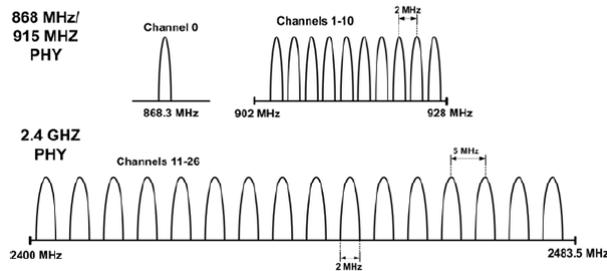
- standard emergente per Low Rate - Wireless Personal Area Network (LR-WPAN);
- definisce gli strati fisico e MAC delle LR-WPANs;
- obiettivi: risparmio energetico e flessibilità.

Zigbee Alliance:

- definisce protocolli per gli strati di rete e di applicazione sulla base dello strato fisico e MAC definiti dallo standard IEEE 802.15.4.

È possibile operare su tre diverse bande di frequenza ognuna delle quali è suddivisa in un certo numero di canali:

- banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) a 2.4 GHz, in cui sono disponibili 16 canali ognuno di capacità 250 kbit/s (è la banda più utilizzata).
- banda a 868 MHz disponibile in Europa, con un unico canale di capacità 20 kbit/s
- banda a 915 MHz disponibile in Usa, composta da 10 canali ognuno di capacità 40 Kbit/s



## la propagazione

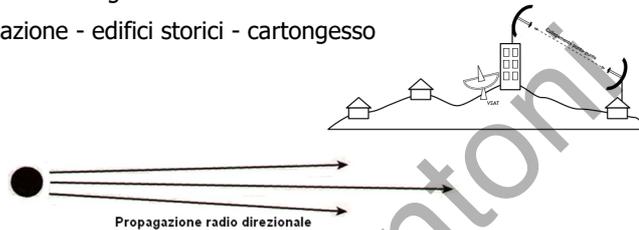
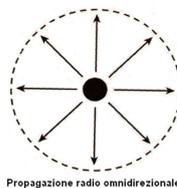
**Potenza di radiazione:** La normativa tecnica ETS 300-328 impone di non irradiare con una potenza E.I.R.P. (Effective Isotropic Radiated Power) **superiore ai 100mW** (equivalente a 20dBm)

**Guadagno:** grado di amplificazione  
 Omnidirezionale = 1  
 Direzionale >1 (buono per lunga distanza)

**Direzione:** omnidirezionale o direzionale

**Visibilità:** piante - montagne

**Logistica:** ubicazione - edifici storici - cartongesso



## E.I.R.P. (Effective Isotropic Radiated Power)

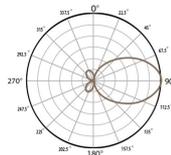
Per il termine E.I.R.P. (Effective Isotropic Radiated Power), ossia potenza isotropica irradiata equivalente si intende per definizione la "potenza che dovrebbe essere irradiata da un'antenna isotropica ipotetica per ottenere lo stesso livello di segnale nella direzione di radiazione massima di un'antenna".

**2400,0 – 2483,5 MHz (banda a 2,4 GHz)** - la potenza non può superare i **100 mW E.I.R.P. (20 dBm)**

**5150 – 5350 MHz (banda a 5 GHz)** - la potenza non può superare i **200 mW E.I.R.P. (23 dBm)**

- è consentito di usare i dispositivi esclusivamente in ambienti chiusi

**5725 – 5875 MHz (banda a 5 GHz)** - la potenza non può superare i **1000 mW E.I.R.P. (30 dBm)**



<https://www.everythingrf.com/rf-calculators/eirp-effective-isotropic-radiated-power>

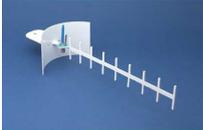
Reti di elaboratori

## Antenne wireless



paraboliche

Il guadagno d'antenna è fino a 27dB




Yagi o Yagi-Uda

Il guadagno d'antenna è di circa 6dB ed aumenta con l'aumentare del numero dei direttori (si arriva fino a circa 20dB).



Più che un'antenna un sistema di collegamento

hiperlan

---

**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.101**

101

Reti di elaboratori

## CanAntenna



<https://www.dxzone.com/dx12620/pringlescantenna-seattle-wireless.html>

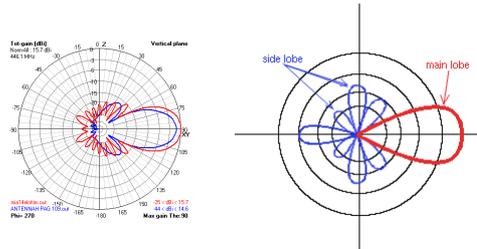
---

**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.102**

102

## IL DIAGRAMMA DI RADIAZIONE

Per rappresentare le direzioni preferenziali in cui irradia un'antenna reale si utilizza normalmente un diagramma di radiazione.  
Per il principio di reciprocità il diagramma di radiazione fornisce anche il diagramma di ricezione, quando l'antenna è ricevente.



Va sottolineato che il diagramma di radiazione non è la rappresentazione dell'energia effettivamente irradiata, ma semplicemente una curva che rappresenta come potenza fornita in ingresso all'antenna viene distribuita nelle varie direzioni. Il diagramma di radiazione è la rappresentazione tridimensionale del guadagno, ma solitamente si preferisce più comodamente considerare i diagrammi di sezioni orizzontali e verticali. Antenne ad alto guadagno solitamente presentano dei lobi laterali. Nella figura è rappresentato un diagramma di radiazione a due dimensioni (che potrebbe rappresentare una sezione verticale o una sezione orizzontale dello spettro di emissione). In rosso è rappresentato il fascio (main lobe) e, in blu, i lobi laterali (side lobe).

## Canali di comunicazione

### Aria

- l'ossigeno e l'azoto puro sono mezzi adatti alla trasmissione
- pioggia, nebbia e neve sono ostacoli
- indoor – outdoor

### Tabella Gradi Protezione IP

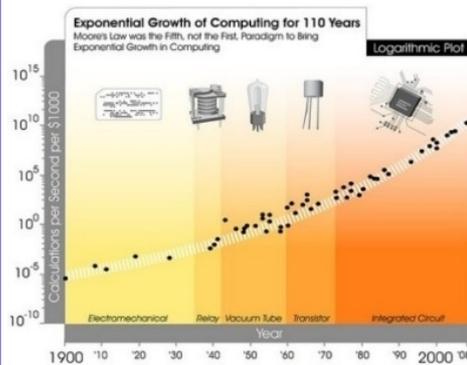
1° Cifra	Descrizione	2° Cifra	Descrizione
1	Protezione da oggetti solidi maggiori di 50 mm	1	Protezione da gocce d'acqua
2	Protezione da oggetti solidi maggiori di 12 mm	2	Protezione da gocce d'acqua deviate fino a 15°
3	Protezione da oggetti solidi maggiori di 2.5 mm	3	Protezione da vapori d'acqua
4	Protezione da oggetti solidi maggiori di 1 mm	4	Protezione da spruzzi d'acqua
5	Protezione da polveri	5	Protezione da getti d'acqua
6	Protezione forte da polveri	6	Protezione da getti forti d'acqua o mareggiate
		7	Protezione contro l'immersione
		8	Protezione contro l'immersione continua

## Tabella Gradi Protezione IP

Grado IP	Definizione
IP 44	Protezione contro la penetrazione di corpi solidi maggiori di 1 mm. Protezione contro la penetrazione di liquidi da gocce, vapori o spruzzi in qualsiasi direzione. La penetrazione di corpi solidi inferiori a 1 mm e liquidi non deve danneggiare l'apparecchiatura.
IP 54	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi. Protezione contro la penetrazione di liquidi da gocce, vapori o spruzzi in qualsiasi direzione. La penetrazione di polveri e liquidi non deve danneggiare l'apparecchiatura.
IP 55	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi. Protezione contro la penetrazione di liquidi da gocce, vapori, spruzzi e getti d'acqua in qualsiasi direzione. La penetrazione di polveri e liquidi non deve danneggiare l'apparecchiatura.
IP 65	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi e polveri. Protezione contro la penetrazione di liquidi da gocce, vapori, spruzzi e getti d'acqua in qualsiasi direzione. La penetrazione liquidi non deve danneggiare l'apparecchiatura.
IP 66	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi e polveri. Protezione contro la penetrazione di liquidi da spruzzi, mareggiate e forti getti d'acqua in qualsiasi direzione. La penetrazione liquidi non deve danneggiare l'apparecchiatura.
IP 67	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi e polveri. Protezione contro l'immersione in acqua momentanea per 30 minuti a 1 metro di profondità.
IP 68	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi e polveri. Protezione contro l'immersione in acqua permanente a 1 metro di profondità.
IP 68-xx	Protezione totale alla penetrazione di corpi solidi e polveri. Protezione contro l'immersione in acqua permanente a xx metri di profondità.

## Computazione e Comunicazione

- Calcolo
  - 1970 una istruzione in 100 nsec.
  - 1990 una istruzione ogni nsec.
  - Fattore 10 ogni 10 anni
- Comunicazione
  - In 20 anni da 56 kbps a 10Gbps
  - Fattore 100 per decennio



Reti di elaboratori

## Computazione e Comunicazione

- Considerazioni
  - CPU al limite
    - Verso le GPU
  - Banda su fibra a 50.000 Gbps
    - Convertire più velocemente segnali elettrici in luminosi
  - I computer sono lenti senza speranza e le reti debbono evitare la computazione

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.107

107

Reti di elaboratori

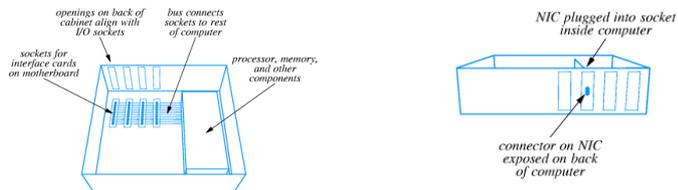
## VELOCITA' DELLE LAN

- Molte LAN operano a velocità superiori della possibilità di elaborazione di un computer
  - Non è ragionevole fissare la velocità a quella del computer più lento
  - Non è ragionevole fissare una velocità di funzionamento convenzionale per i computer
- ALLORA ?
  - SCHEDA o INTERFACCIA DI RETE (network interface card NIC)

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.108

108

## Scheda di rete



Il tipo di rete determina la **topologia logica**

Lo specifico cablaggio determina la **topologia fisica**

## Cablaggio



Reti di elaboratori

## Cablaggio



Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 111

111

Reti di elaboratori

## Cablaggio: sotto-standard

- 802.3 stabilisce dei sotto-standard che si differenziano principalmente per i mezzi trasmissivi utilizzati:
  - 10Base5 usa il coassiale di tipo thick (500 m);
  - 10Base2 usa il coassiale di tipo thin (185 m);
  - 10BaseT usa il doppino telefonico (100 m);
  - FOIRL (Fiber Optic Inter Repeater Link) è uno standard di tipo asincrono per fibra ottica, esso è utilizzato per interconnettere dei repeater (1000 m);
  - 10BaseFL è uno standard di tipo asincrono per fibra ottica, esso è utilizzato per interconnettere dei repeater o delle stazioni (2000 m);
  - 10BaseFB è uno standard di tipo sincrono per fibra ottica, esso è utilizzato per interconnettere dei repeater (2000 m).

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.112

112

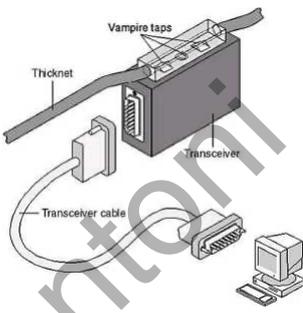
**Reti di elaboratori**

**ETHERNET su cavo coassiale spesso :  
Thicknet – 10Base5 [cavo thick o giallo]**

**Thick Ethernet**

- Utilizzato nelle reti Ethernet 10Base5 (tipo RG213).
  - Costituito da:
    - un conduttore centrale in rame di tipo solido
    - isolante in materiale espanso o compatto (teflon)
    - due schermi in foglio di alluminio
    - due schermi in calza





**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.113**

113

**Reti di elaboratori**

**ETHERNET su cavo coassiale spesso :  
Thicknet – 10Base5 [cavo thick o giallo]**



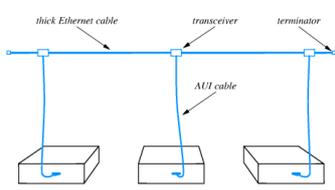
**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.114**

114

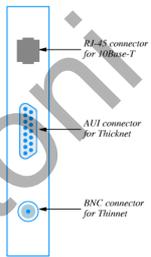
**Reti di elaboratori**

## ETHERNET su cavo coassiale spesso: Thicknet – 10Base5 [cavo thick o giallo]

- Il canale condiviso contiene un cavo coassiale spesso
- I calcolatori collegati alla rete utilizzano un dispositivo chiamato transceiver
- Un cavo AUI composto di molti fili compreso quello di alimentazione del transceiver



Lunghezza massima cavo 500 m  
 Lunghezza massima spezzone 117 m  
 Distanza minima tra i transceiver 2.5 m  
 Numero massimo di transceiver 100  
 Lunghezza massimo AUI cable 50 m



**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN

115

**Reti di elaboratori**

## ETHERNET su cavo sottile : Thinnet - 10Base2

### Thin Ethernet

- Utilizzato nelle reti Ethernet 10Base2 (tipo RG58).
  - Costituito da:
    - un conduttore centrale in rame di tipo trefolato
    - isolante in materiale espanso o compatto
    - uno schermo in foglio di alluminio
    - uno schermo in calza
  - Attenuazione 2.7 volte superiore al cavo Thick

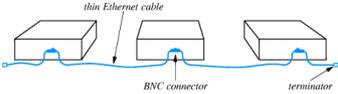
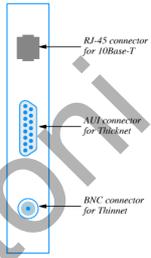



**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN 5.116

116

**Reti di elaboratori** **ETHERNET su cavo sottile : Thinnet - 10Base2**

- Differenze con Thicknet :
  - ISTALLAZIONE e funzionamento costano molto di meno
  - La scheda di rete incorpora le funzioni del transceiver
  - Il cavo si inserisce direttamente sul retro del computer tramite un connettore BNC

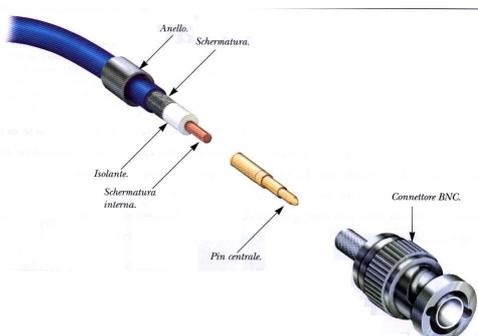



Lunghezza massima del cavo 185 m  
 Numero massimo di stazioni 30  
 Distanza minima tra le stazioni 0.5 m

**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.117**

117

**Reti di elaboratori** **ETHERNET su cavo sottile : Thinnet - 10Base2**

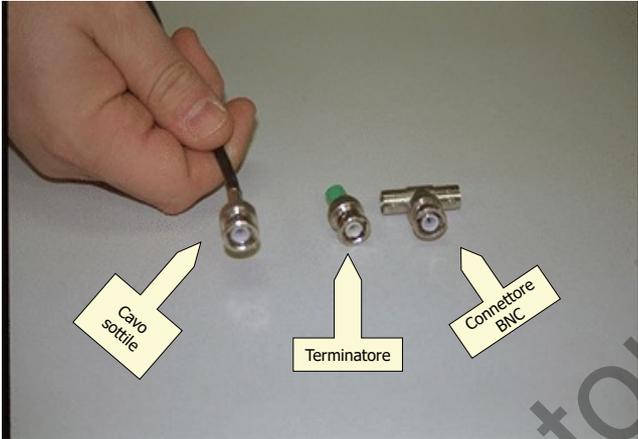



**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.118**

118

Reti di elaboratori

## ETHERNET su cavo sottile



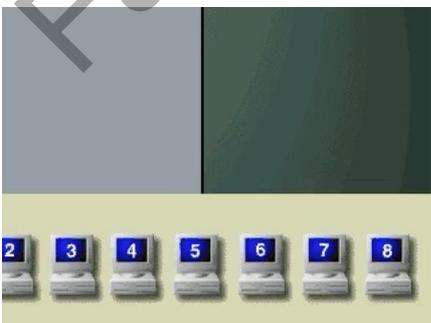
Fausto Marcantoni
Chapter 5 Data Link e LAN
5.119

119

Reti di elaboratori

## ETHERNET su cavo sottile : Thinnet - 10Base2

**Connettore BNC**



**Terminatore BNC**



Fausto Marcantoni
Chapter 5 Data Link e LAN
5.120

120

Reti di elaboratori

## ETHERNET su doppino : 10Base-T

### Il doppino telefonico

- Costituito da una o più coppie (**pair**) di conduttori di rame ritorti (**binati, twisted**)
- Impiegato in fonia, reti locali, cablaggio strutturato
  - le caratteristiche elettriche richieste per l'impiego sulle LAN sono nettamente superiori a quelle per gli impieghi di sola fonia
- Banda passante più bassa del coassiale
- Costi ridotti e installazione semplice



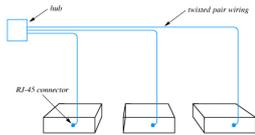
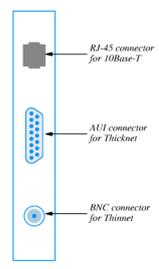
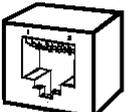
Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.121

121

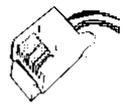
Reti di elaboratori

## ETHERNET su doppino : 10Base-T

- Collegamento tramite doppino telefonico (cavo UTP min. cat. 3) e due connettori RJ45
- Estende l'idea del multiplexor di raccordo → hub ethernet
  - Simula i segnali su cavo ethernet
  - Contenitore posto in un armadio di cablaggio
  - Connessione hub-computer max. 100 mt

Presina Femmina RJ45 da parete

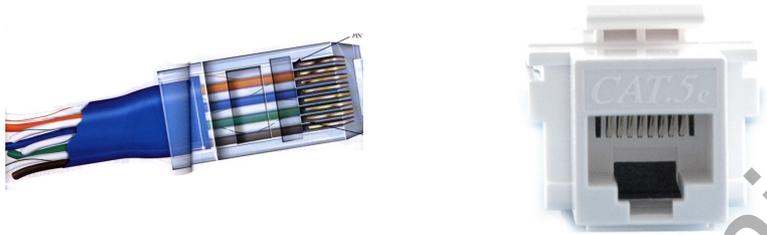


Spinotto (plug) maschio RJ45 volante

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.122

122

**Reti di elaboratori** **ETHERNET su doppino : 10Base-T**



**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.123**

123

**Reti di elaboratori** **ETHERNET su doppino : 10Base-T - EIA/TIA-568**

Preferita (T568A) Coppia 2

Alternativa (T568B) Coppia 3

1	2	3	4	5	6	7	8
W-G	G	W-O	BL	W-BL	O	W-BR	BR

Jack positions

1	2	3	4	5	6	7	8
W-O	O	W-G	BL	W-BL	G	W-BR	BR

Jack positions

Pair 2

Pair 3

Pair 1

Pair 4

Pair 3

Pair 1

Pair 4

**T568A**

**T568B**

**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.124**

124

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">ETHERNET su doppino : 10Base-T</h2>	
<h3 style="color: blue; margin: 0;">Binatura</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ La binatura serve per far sì che mediamente i campi elettromagnetici esterni agiscano in egual modo sui due conduttori             <ul style="list-style-type: none"> <li>■ una tecnica di trasmissione differenziale elimina i disturbi</li> </ul> </li> </ul> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Passi di binatura differenziati servono per ridurre la diafonia (cross-talk) tra le coppie</li> </ul>		
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN	5.125

125

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">ETHERNET su doppino : 10Base-T</h2>	
<h3 style="color: blue; margin: 0;">Tipi di doppino</h3> <p><b>UTP (Unshielded Twisted Pair):</b> doppino non schermato</p> <p><b>FTP (Foiled Twisted Pair):</b> doppino con schermo globale in foglio di alluminio</p> <p><b>S-UTP o S-FTP:</b> doppino con schermo globale costituito da un foglio di alluminio e da una calza in rame</p> <p><b>STP (Shielded Twisted Pair):</b> doppino con singole coppie schermate più schermo globale</p>		
Fausto Marcantoni	Chapter 5 Data Link e LAN	5.126

126

Reti di elaboratori

## ETHERNET su doppino: 10Base-T



Categoria	Caratteristiche
Categoria 1	Doppino telefonico a 4 fili. Cavo UTP tradizionale in grado di trasferire segnali vocali ma non dati.
Categoria 2	Cavo UTP costituito da 4 doppini intrecciati utilizzato per la trasmissione dati a velocità fino a 4 Mb/s
Categoria 3	Cavo UTP costituito da 4 doppini con circa 10 intrecci per metro, utilizzato per la trasmissione dati a velocità fino a 10 MB/s.
Categoria 4	Cavo UTP costituito da 4 doppini intrecciati utilizzato per la trasmissione dati a velocità fino a 16 Mb/s.
Categoria 5	Cavo UTP costituito da 4 doppini intrecciati utilizzato per la trasmissione dati a velocità fino a 100 Mb/s. Banda passante 100 Mhz
Categoria 5e	Cavo UTP costituito da 4 doppini intrecciati utilizzato per la trasmissione dati a velocità fino a 1 Gb/s.
Categoria 6	E' una tipologia di cavo in rame a coppie simmetriche con caratteristiche trasmissive specificate fino alle frequenza massima di prova di 250 MHz, la banda passante utile a 200 MHz.
Categoria 7	In fase di sviluppo - Supporterà 10-GigaBit

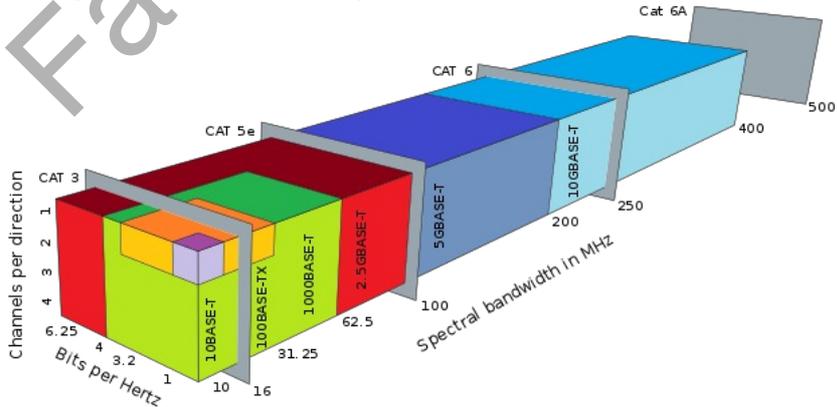
Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.127

127

Reti di elaboratori

## 2.5Gbps over Cat 5e, 5Gbps over Cat 6

IEEE has approved the 802.3bz standard:  
2.5Gbps over Cat 5e, 5Gbps over Cat 6.



<http://arstechnica.com/gadgets/2016/09/5gbps-ethernet-standard-details-8023bz/>

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.128

128

Reti di elaboratori

## Prestazioni del cavo Ethernet

### ETHERNET CABLE PERFORMANCE

CATEGORY	TRANSMISSION SPEED	BANDWIDTH
Cat 3	10 Mbps	16 MHz
Cat 5	10/100 Mbps	100 MHz
Cat 5e	1000 Mbps / 1 Gbps	100 MHz
Cat 6	1000 Mbps / 1 Gbps	>250 MHz
Cat 6a	10000 Mbps / 10 Gbps	500 MHz
Cat 7	10000 Mbps / 10 Gbps	600 MHz
Cat 8	25 Gbps or 40Gbps	2000 MHz

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 129

129

Reti di elaboratori

## ETHERNET su doppino : 10Base-T

### Norme per l'installazione dei cavi UTP

- la **massima tensione** di tiro applicabile sui cavi è di 11.3 Kg.
- il **raggio di curvatura minimo** ammesso varia a seconda della categoria del cablaggio. Il valore richiesto è di 25.4 mm per i cablaggi di categoria 3, ed otto volte il diametro esterno del cavo (50.8 mm) per i cablaggi di categoria 4 e 5;
- la parte del cavo non ritorta sulla terminazione non deve superare:
  - 25 mm per i cablaggi di categoria 4
  - 13 mm per i cablaggi di categoria 5.
- la **distanza minima tra i cavi** di telecomunicazione e quelli di potenza, quando viaggiano paralleli tra di loro, è di 152 mm.

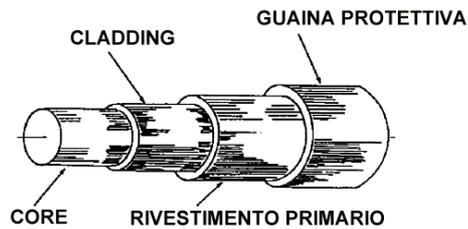
Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.130

130

## Struttura di una fibra ottica

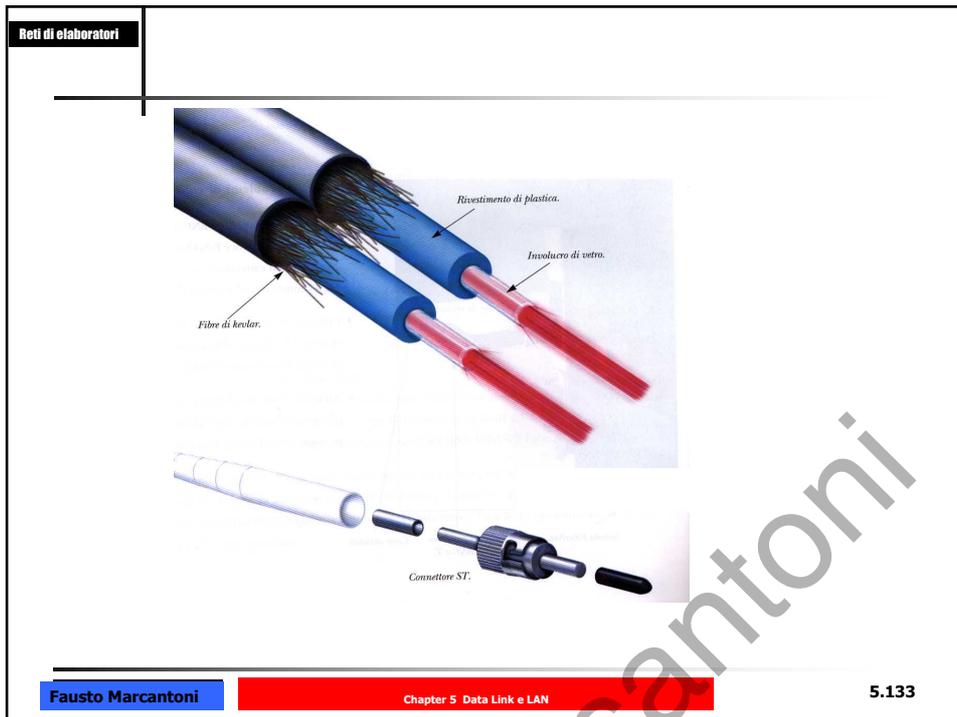
■ È un minuscolo e flessibile filo di materiale vetroso:

- una parte interna detta nucleo (core)
- una parte esterna detta mantello (cladding)
- core e cladding hanno indici di rifrazione diversi per confinare la luce all'interno del core



## Caratteristiche

- Le fibre ottiche sono unicamente adatte a collegamenti punto a punto, non essendo possibile prelevare o inserire il segnale in un punto intermedio
- Totale immunità ai disturbi elettromagnetici
- Caratterizzate da due numeri  $n/m$  dove:
  - $n$  diametro della parte interna conduttrice di luce
  - $m$  diametro della parte esterna
- Valori tipici in micron
  - multimodali 50/125, 62.5/125, 100/140
  - monomodali 8-10/125



133

Reti di elaboratori

### Connettori per la terminazione delle fibre ottiche

- connettori "ST" simplex o duplex: hanno una chiave d'inserzione e si bloccano mediante un meccanismo a baionetta;
- connettori "SC" simplex o duplex: sono molto simili ai precedenti, hanno una chiave d'inserzione, ma sono inseribili e disinseribili a pressione.

The diagrams show four types of fiber optic connectors: ST simplex (a single-pin connector with a bayonet lock), ST duplex (two pins labeled A and B), SC simplex (a single-pin connector with a push-on mechanism), and SC duplex (two pins labeled A and B with a push-on mechanism).

ST simplex      ST duplex      SC simplex      SC duplex

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.134

134

Reti di elaboratori

## Fibra ottica senza fibra

C'è la luce ma non c'è la fibra.  
 Il progetto Taara usa fasci di luce tra due dispositivi per veicolare una **banda ultra larga fino a circa 20 Gbps** e per distanze superiori ai 20 km.  
 L'ultimo test in Africa ha risparmiato 400 chilometri di cavi.



<https://www.633v.it/casozioni/taara-ottica-senza-fibra-il-progetto-taara-10000lex-102-fasci-di-luce-veicolare-cavi/?holid=1w480x417G50713156x71955dhtmlDx6FDm0QF57mw7P-H94-dbw>

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.135

135

Reti di elaboratori

## ESTENSIONE DELLE LAN

- La condivisione del canale abbatte i costi ma limita l'estensione della rete a causa dei protocolli di accesso e del decadimento del segnale
- Sei buone ragioni per connettere più LAN:
  1. Per unificare più LAN costruite in tempi diversi
  2. Per unificare più LAN in diversi edifici
  3. Per suddividere una LAN con carico troppo elevato
  4. Per aumentare la massima distanza copribile da una LAN
  5. Per aumentare l'affidabilità
  6. Per aumentare la sicurezza
- Alcune soluzioni sviluppate
  - Ripetitori
  - Bridge

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.136

136

Reti di elaboratori

## Repeater

- Serve per ripetere e rigenerare una sequenza di bit ricevuti da una porta sulle altre porte, si comporta approssimativamente come un amplificatore.
- Dal punto di vista software, due segmenti connessi da due ripetitori sono identici ad un unico segmento
- Assume il nome di
  - repeater quando è costituito da 2 porte;
  - multiport repeater quando è costituito da più di 2 porte.
- **Al massimo 4 repeater possono trovarsi sul cammino tra due stazioni**

Qual è il numero massimo di repeater che possono essere installati in una LAN????

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.137

137

Reti di elaboratori

## Repeater e pila OSI

Applicazione  
Presentazione  
Sessione  
Trasporto  
Rete  
Data Link  
Fisico

Repeater

Fisico Fisico

Applicazione  
Presentazione  
Sessione  
Trasporto  
Rete  
Data Link  
Fisico

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.138

138

## Bridge

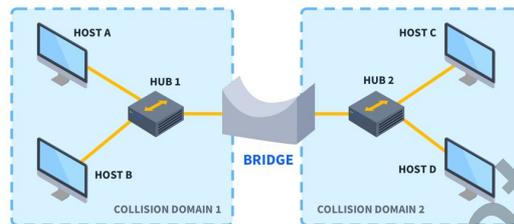
Dispositivo hardware che:

**Lavora sulle frame e non sui segnali**

**Inoltra i frame** completi e corretti da un segmento all'altro

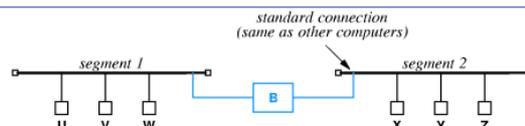
**Non propaga collisioni** ed interferenze

**Inoltra** ciascun frame **solo dove è necessario** (filtraggio)

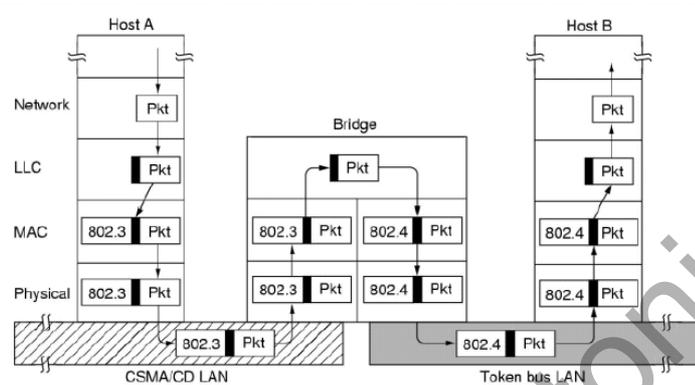


## Bridge

- Il bridge è **adattativo** cioè impara man mano che riceve un frame come sono fatti i propri segmenti.
  - Il software mantiene due elenchi di indirizzi, uno per ogni interfaccia, registrando l'indirizzo sorgente del frame che arriva da uno dei due segmenti
  - Si **autoconfigura**
- Il bridge consente **l'attività simultanea** sui segmenti da lui collegati
  - Le prestazioni delle reti costituite da più segmenti possono essere migliorate ponendo nello stesso segmento le stazioni che colloquiano più frequentemente.



## Esempio di bridge tra Ethernet e Token Bus



## Routing nei bridge

Ciascun bridge deve gestire il **routing** (instradamento, meglio ancora **l'inoltro**) dei frame considerando l'indirizzo hardware di destinazione di ciascun frame

L'IEEE definisce due standard (incompatibili tra loro), entrambi chiamati come **IEEE 802.1d**:

- **Transparent bridge** (proposto dai comitati che formalizzavano 802.3 e 802.4)
- **Source routing bridge** (proposto dal comitato che formalizzava 802.5)

Reti di elaboratori

## Trasparent Bridge

- Quando arriva un frame, legge l'indirizzo hardware della scheda di rete a cui il frame è destinato:
  - se la destinazione è nella tabella di routing del bridge:
    - se la destinazione è sulla LAN da cui è arrivato il frame, ignora il frame
    - se la destinazione è su un'altra LAN, invia il frame solo a quella LAN
  - se la destinazione non è nella tabella di routing, invia il frame a tutte le LAN eccetto quella dalla quale il frame è arrivato (**flooding**)

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.143

143

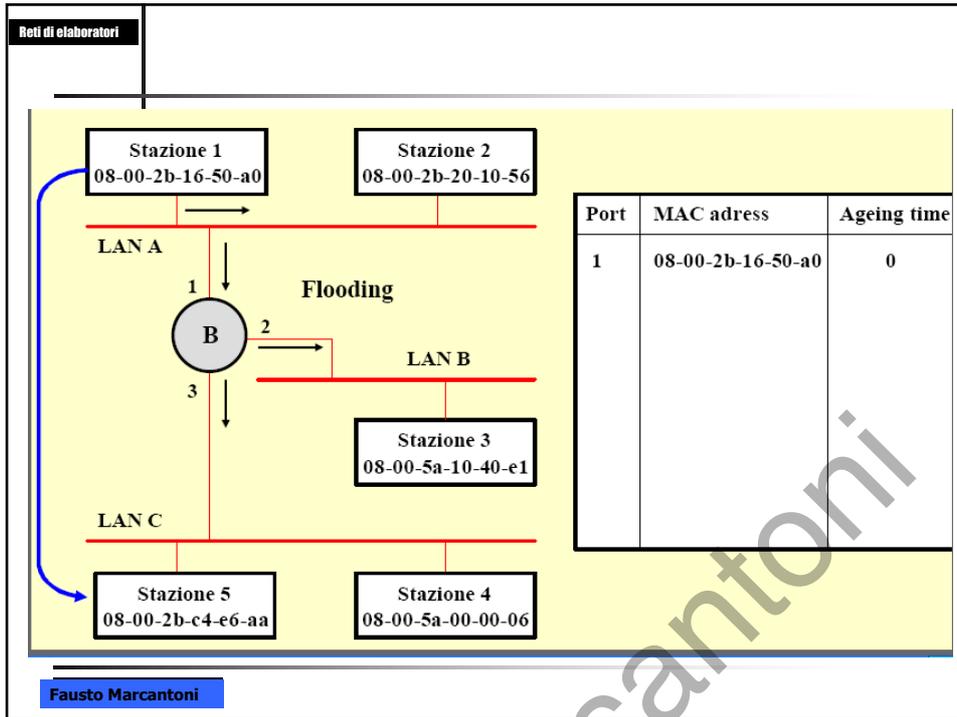
Reti di elaboratori

## Trasparent Bridge

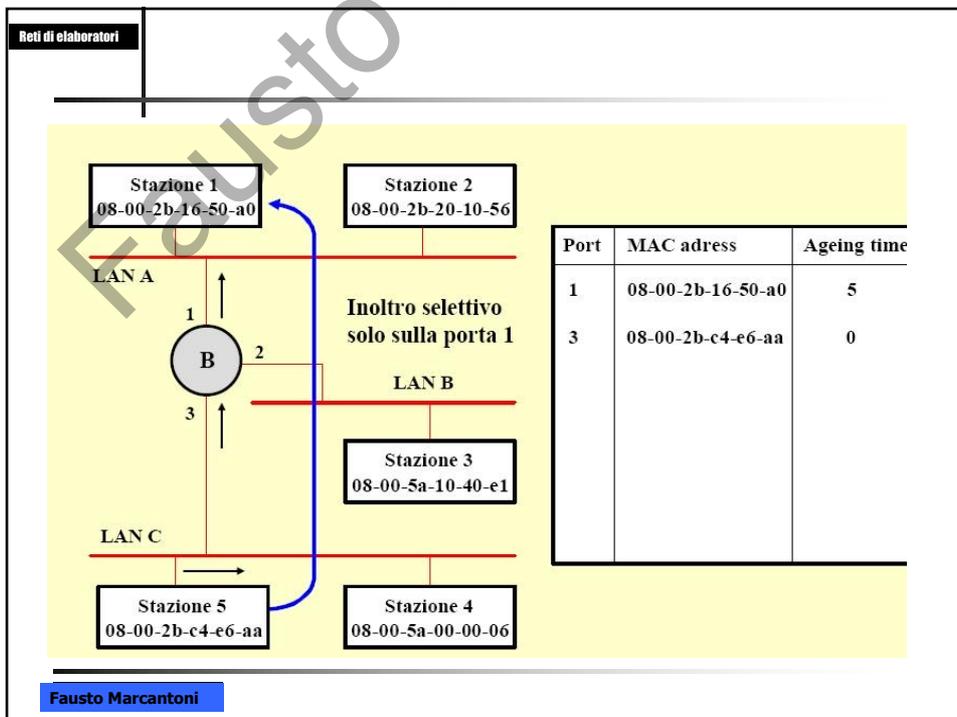
- La tabella viene riempita utilizzando un algoritmo chiamato **backward learning**:
  - Per ogni frame che giunge al bridge:
    - legge l'indirizzo hardware del calcolatore che ha inviato il frame
    - se non è già presente, aggiunge alla tabella di routing l'informazione che il calcolatore è raggiungibile sulla LAN dalla quale è arrivato il frame
- La tabella di routing del bridge è dinamica, per gestire calcolatori che si accendono, si spengono o si muovono:
  - ogni volta che un frame arriva ad un bridge, l'istante temporale in cui è arrivato è scritto in un apposito campo del record corrispondente nella tabella di routing
  - periodicamente il bridge esamina tutti i record della tabella di routing e cancella tutti quelli inattivi per parecchio tempo

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.144

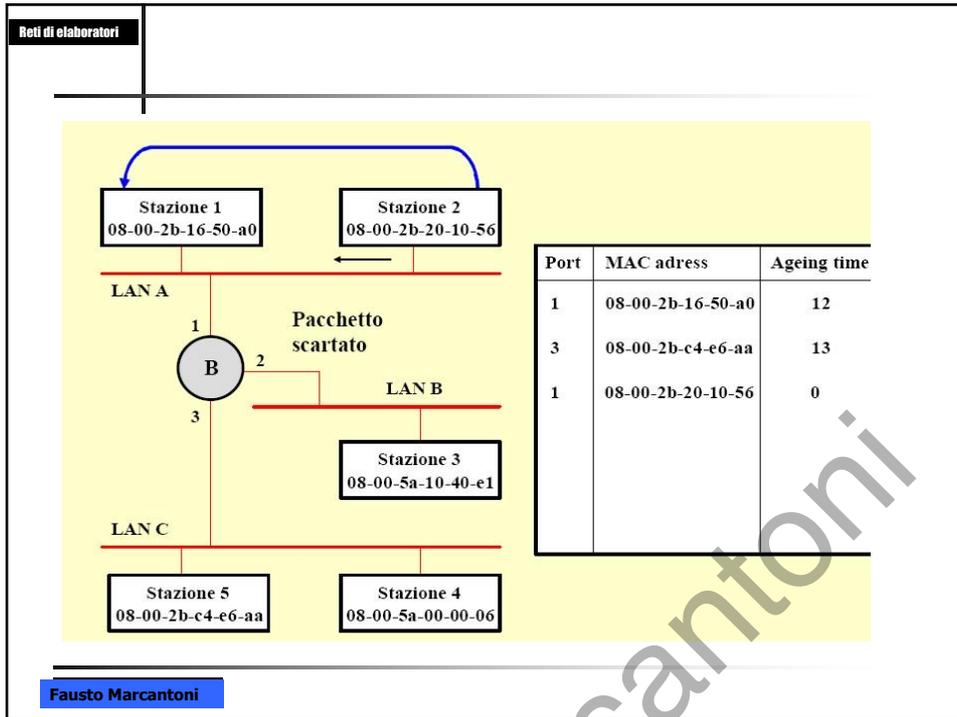
144



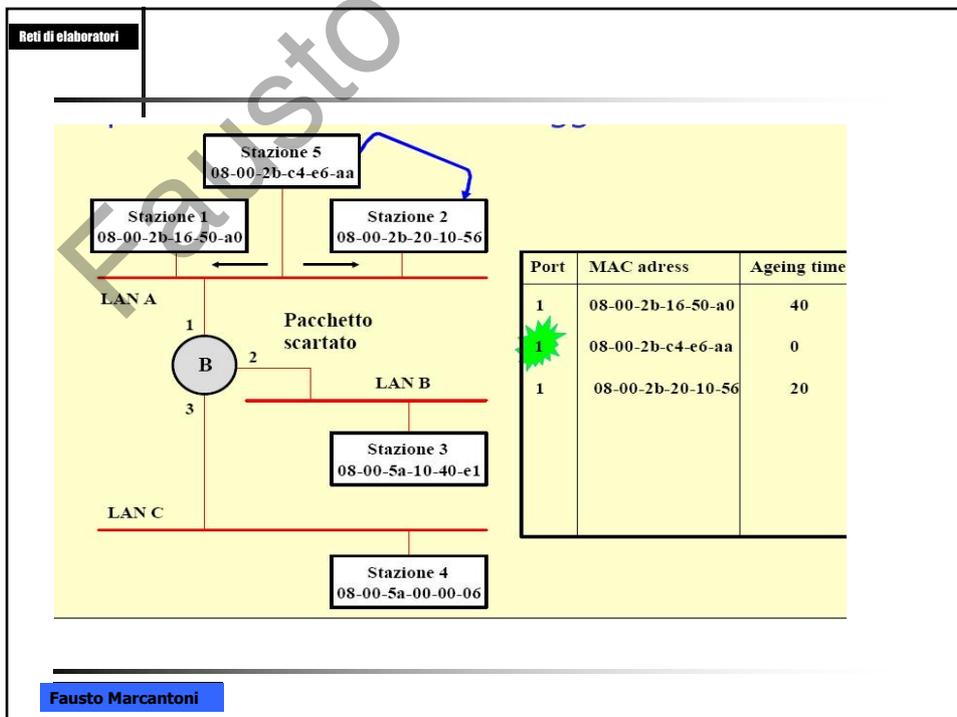
145



146

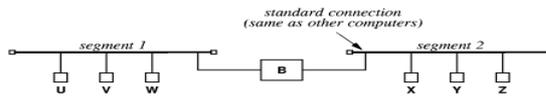


147



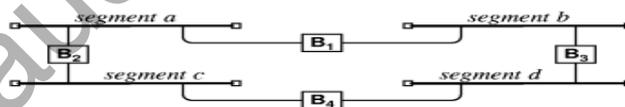
148

## Algoritmo di backward learning



Event	Segment 1 List	Segment 2 List
Bridge boots	-	-
U sends to V	U	-
V sends to U	U, V	-
Z broadcasts	U, V	Z
Y sends to V	U, V	Z, Y
Y sends to X	U, V	Z, Y
X sends to W	U, V	Z, Y, X
W sends to Z	U, V, W	Z, Y, X

## Ciclo di bridge



1. Un calcolatore del segmento "a" trasmette un frame broadcast.
2. Il bridge B1 ne inoltra una copia lungo il segmento "b" e B2 fa lo stesso lungo "c".
3. Ricevuto il frame, il bridge B4 ne inoltra una copia lungo il segmento "d"; allo stesso modo B3 ne inoltra una copia lungo "d".
4. Dunque, i calcolatori collegati al segmento "d" ricevono copie multiple del frame.
5. Ma la cosa più importante è che adesso B3 ritrasmette una copia del frame lungo "b", e così fa pure B4 lungo "c".
6. In altre parole, a meno che non si proibisca a qualche bridge di inoltrare frame broadcast, il frame continua a circolare all'infinito lungo il ciclo, e ogni calcolatore riceve un numero illimitato di copie

## Soluzione del problema del ciclo di bridge

- Una volta entrato in funzione, il bridge comunica con gli altri bridge del segmento al quale è connesso.
- I bridge eseguono un algoritmo noto come albero di attraversamento distribuito (**distributed spanning tree**) per decidere quali bridge non devono inoltrare frame.
  - In sostanza, un bridge si astiene dall'inoltrare frame se ogni segmento al quale è connesso ospita un altro bridge che ha già deciso di inoltrare frame.
- Dopo l'esecuzione dell'algoritmo, i bridge che hanno deciso di inoltrare frame formano un grafo (connesso) privo di cicli, ovvero un albero.

## STP - wireshark

```

Capturing from Realtek RTL8108S_01110 PCI-E Gigabit Ethernet NIC - Wireshark
File Edit View Settings Capture Analyze Statistics Telephony Tools Help
Filter: stp
No. Time Source Destination Protocol Info
405 76.499327 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
406 78.503480 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
413 80.499262 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
423 82.499357 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
443 84.505168 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
446 86.499634 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
454 88.503982 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
462 90.500932 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
468 92.499698 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
469 94.505537 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
478 96.500626 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
489 98.504027 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
496 100.500218 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =
507 102.500422 3com_35:aa:10 spanning-tree-For-STP RST, Root = 32768/0/00:09:b7:4b:85:81 Cost =

# Frame 191: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface 0
# Ethernet II, Src: Realtek (08:00:27:00:00:00), Dst: Realtek (08:00:27:00:00:00)
# IEEE 802.3 Ethernet
# Logical Link Control
# Spanning Tree Protocol
  Protocol Identifier: Spanning Tree Protocol (0x0000)
  Protocol version Identifier: Rapid Spanning Tree (2)
  BPDU Type: Rapid/Multiple Spanning Tree (0x02)
  BPDU Flags: 0x7c (Agreement, Forwarding, Learning, Port Role: Designated)
  Root Identifier: 32768 / 0 / 00:09:b7:4b:85:81
  Root Path Cost: 18
  Bridge Identifier: 32768 / 0 / 00:0b:ac:35:aa:00
  Port Identifier: 0x8010
  Message Age: 1
  ...
0000 01 80 c2 00 00 00 00 00 ac 35 aa 10 00 27 42 42 .....5...BB
0010 12 09 02 02 02 7c 80 00 00 00 b7 4b 85 81 00 00 .....5...
0020 03 12 80 00 00 0b ac 35 aa 00 80 10 01 03 14 00 .....5...
0030 02 00 0f 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
  
```

Reti di elaboratori

## Collision Domain

- Il collision domain è quella porzione di rete CSMA/CD in cui, se due stazioni trasmettono simultaneamente, le due trame collidono
  - spezzoni di rete connessi da **repeater** sono **nello stesso collision domain**
  - spezzoni di rete connessi da **bridge** sono in **collision domain diversi**
  - I concentratori (HUB)
    - hanno normalmente funzionalità di repeater
    - possono essere dotati di schede bridge per separare i collision domain

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.153

153

Reti di elaboratori

## Evoluzione delle LAN

-  Le LAN nascono con topologie a bus o anello
-  Con il cablaggio strutturato diventano stelle o alberi
-  Semplicità di gestione
-  Applicabilità a tutte le LAN

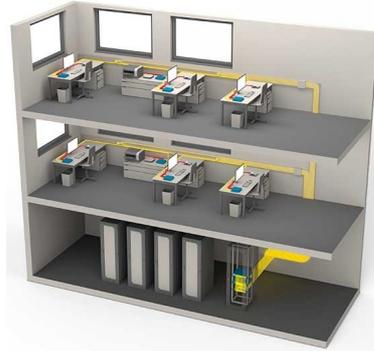
Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.154

154

## Collapsed Backbone

dorsale collassata

Una particolare configurazione di rete dove la dorsale (backbone) anzichè estendersi lungo il piano o l'intero edificio **è concentrata entro un singolo contenitore fisico**. Questo potrebbe essere un châssis il cui bus ad alta velocità interconnette le diverse schede al suo interno che funzionano da hub, router, bridge e switch, oppure potrebbe anche essere un rack o uno stack che contiene diversi hub e switch collegati tra loro da cavi brevi. Diversi server riuniti in una singola stanza e collegati tra loro da un hub comune costituiscono un semplice esempio di collapsed backbone.



155

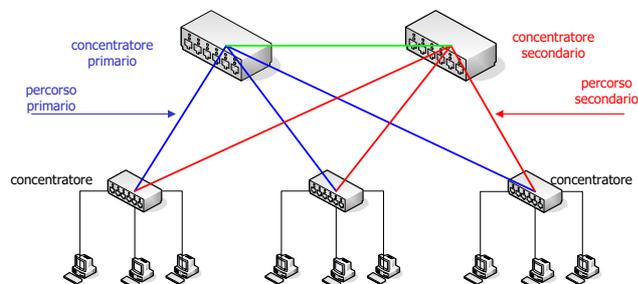
## Fault Tolerance

### ❑ Unico centro stella

- Un singolo guasto può bloccare la rete

### ❑ Fault-Tolerant su collapsed backbone:

- Centro stella ridondato



156

Reti di elaboratori

## LAN COMMUTATE

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.157

157

Reti di elaboratori

## LAN COMMUTATE

 Dato che un hub simula un unico segmento condiviso da tutti i calcolatori, solo due calcolatori alla volta possono comunicare tramite hub.

 la massima larghezza di banda possibile per un sistema con hub è la velocità di trasmissione di un singolo calcolatore.

 In una LAN commutata, invece, ciascun calcolatore dispone di un segmento simulato tutto per sé: di conseguenza, la metà dei calcolatori collegati al commutatore può trasmettere dati simultaneamente

 La massima larghezza di banda di uno switch è  $RN/2$ , dove R è la velocità di trasmissione di un calcolatore e N è il numero totale di calcolatori collegati al commutatore

 Il costo per connessione di un commutatore è solitamente maggiore di quello di un hub, perché la larghezza di banda da esso fornita è maggiore.

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.158

158

Reti di elaboratori

## Commutatori (switch)

Banda condivisa o dedicata?

- Si sostituiscono ai repeater nei centro stella consentendo il parallelismo della comunicazione
- Hanno una banda aggregata molto superiore a quella della singola porta
  - Molte trasmissioni in contemporanea tra segmenti
  - Traffico locale confinato su ciascun segmento
- Derivati dalla tecnologia dei bridge:
  - Ethernet Switch
  - Token-Ring Switch
  - FDDI Switch

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.159

159

Reti di elaboratori

## Switched LAN

INDIRIZZO MAC PER DISPOSITIVO H

INDIRIZZO MAC PER DISPOSITIVO G

INDIRIZZO MAC PER PC F

INDIRIZZO MAC PER DISPOSITIVO E

INDIRIZZO MAC PER PC D

INDIRIZZO MAC PER PC C

INDIRIZZO MAC PER PC B

INDIRIZZO MAC PER PC A

LAN SWITCHING

INDIRIZZO MAC PER DISPOSITIVO D

INDIRIZZO MAC PER PC E

INDIRIZZO MAC PER PC F

INDIRIZZO MAC PER DISPOSITIVO G

INDIRIZZO MAC PER DISPOSITIVO H

INDIRIZZO MAC PER PC A

INDIRIZZO MAC PER PC B

INDIRIZZO MAC PER PC C

INDIRIZZO MAC PER PC D

INDIRIZZO MAC PER PC E

INDIRIZZO MAC PER PC F

INDIRIZZO MAC PER DISPOSITIVO E

INDIRIZZO MAC PER DISPOSITIVO G

INDIRIZZO MAC PER DISPOSITIVO H

FAUSTO MARCANTONI

Chapter 5 Data Link e LAN

5.160

160

### Tre tipologie di instradamento da parte di uno switch

- cut-through
- store-and-forward
- fragment-free

Fausto Marcantoni

161

### Cut-through

- Nella prima tipologia lo switch **si limita a leggere l'indirizzo MAC del destinatario** per decidere su quale porta eventualmente instradare il pacchetto e quindi manda il contenuto del frame contemporaneamente alla sua lettura. In questo caso l'invio dei frame non attende la ricezione completa dello stesso. Questo tipo di switch è quello con latenza minore.

Fausto Marcantoni

162

Reti di elaboratori	<h2>Store-and-forward</h2>
<ul style="list-style-type: none"><li>■ Negli switch store-and-forward invece <b>viene letto l'intero frame</b> e ne viene calcolato il cyclic redundancy check (CRC) confrontandolo con il campo FCS all'interno del frame. Solo se i due valori corrispondono il frame viene mandato al destinatario, altrimenti non viene trasmesso.</li><li>■ Questi tipi di switch consentono di <b>bloccare frame contenenti errori</b> ma hanno una latenza maggiore.</li></ul>	
Fausto Marcantoni	

163

Reti di elaboratori	<h2>Fragment-free</h2>
<ul style="list-style-type: none"><li>■ L'ultima tipologia è un <b>compromesso tra le due precedenti</b> in quanto si leggono i primi 64 bytes del frame in modo da rilevare solo alcune anomalie nel frame.</li></ul>	
Fausto Marcantoni	

164

Reti di elaboratori

## Switching Modes

Cut-through: inoltra pacchetti appena il DSAP è disponibile.

Fragment-free: bufferizza sino alla terminazione dello header. In Ethernet bufferizza i primi 64 byte (**collision detection**).

Store-and-forward: riceve l'intero pacchetto prima di inoltrarlo, può controllare la FCS.

↑ veloce  
↓ lento

Bytes: 7    1    6    6    2    46 to 1500    4

01010101 ...    SOH    dest addr    src addr    length    data    FCS

Cut-through switching starts now    Fragment-free starts now    Store-and-forward switching starts now

Fausto Marcantoni    Chapter 5 Data Link e LAN    5.165

165

Reti di elaboratori

## Configurazione di uno Switch

Spie di stato e attività    porte per server    porte di "uplink" backbone

- ☺ Da 8 a 48 porte 10/100/1000 baseTX con autosensing
- ☺ 1 o + porte di "uplink" per la connessione al backbone
- ☺ 1 o + porte per la connessione dei server
- ☺ uplink devono essere più veloci delle host port per evitare colli di bottiglia
- ☺ Stackable
- ☺ Managed (SNMP – RMON)
- ☺ Lo Spanning Tree (STP) non viene eseguito sulle host port che sono sempre in forwarding (non sempre)
- ☺ Virtual LAN

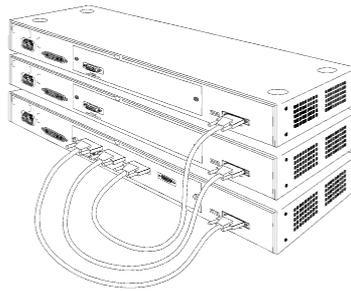
Fausto Marcantoni    Chapter 5 Data Link e LAN    5.166

166

## Stackable switch

Tutti gli switch di uno stack interagiscono tra loro e gestiscono la trasmissione dei dati, comportandosi come un unico dispositivo fisico.

I cavi per i collegamenti in stack che collegano tra loro gli switch forniscono elevata ampiezza di banda, garantendo una trasmissione dei dati ad alta velocità tra i dispositivi della stack stesso.



## Managed switch

- Interfaccia Grafica
  - WEB
  - Proprietaria
- Wizard di configurazione/gestione
- Monitor singola interfaccia/porta
- Sicurezza sulla singola porta (PPPoE, Radius, ...)
- Vlan
- Statistiche (PORT MONITOR)
- Segnalazione Alert – Guasti
- Moduli aggiuntivi (layer 4/7)
- Costi

**Reti di elaboratori**

## Managed switch – web interface

The screenshot shows the 3COM Web Management Interface in a Windows Internet Explorer browser window. The page title is 'switch\_cs' and it features a 'SUPER STACK' logo. The interface is divided into a left sidebar with a tree view (System, Bridge, Physical Interface, Protocol, Security, Unit 1-4) and a main content area. The main area displays 'Unit 1' with a physical interface diagram showing ports and modules (Module 2: Cascade, Module 1: 1000Base-T). Below the diagram is a 'Device Summary : Unit 1' table with the following data:

Device Summary : Unit 1	
Name	
Type	Switch 4400
Software Version	4.00
Hardware Version	04.01.00
IP Address	193.205.92.13
MAC Address	00-0b-ac-83-02-40
Boot Version	2.21
Product Number	3C17204
Serial Number	72AV288830240
Up Time	240 days 19 hours 8 minutes
Module Slot 1	3C17220 1000Base-T module
Module Slot 2	3C17224 Cascade module

**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.169**

169

**Reti di elaboratori**

## Managed switch – web interface

The screenshot shows the Cisco Catalyst 2960-X web interface. The top navigation bar includes 'Gestione dispositivi Catalyst serie 2960-X - CA.N.P.INFO.2960XLODO', language settings (Italiano), and session information (Standard | Protetta). The main area features a 'Visualizza: Stato' dropdown and a port diagram. Below this is a 'Dashboard' section with several widgets:

- Informazioni sullo switch:**
  - Nome Host: WS-C2960X-48FPD-L
  - ID prodotto: WS-C2960X-48FPD-L
  - Indirizzo IP: 00:17:02:03:68:00
  - Numero di serie: FOC219452219
  - Software: 15.2(2)E3
  - Contacto:
  - Posizione:
- Stato di salute dello switch:**
  - Larghezza di banda utilizzata dallo stack: 0%
  - Erroi di trasmissione dello stack: 0%
  - Utilizzo di PoE: 0%
  - Ventole: OK
  - Temperatura: OK
- Utilizzo delle porte:** Visualizza trend | Visualizza statistiche

**Fausto Marcantoni** Chapter 5 Data Link e LAN **5.170**

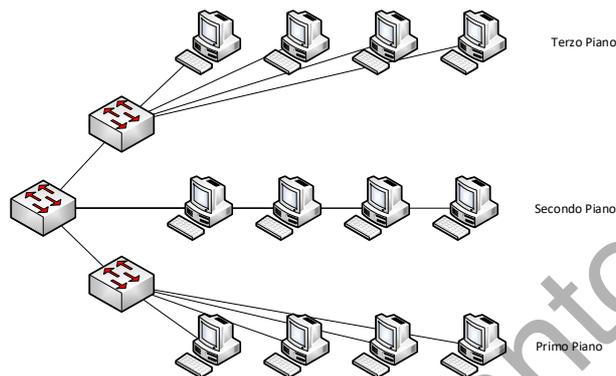
170

## LAN estese

### Problema

far coesistere sulla stessa infrastruttura di rete fisica due o più reti IP distinte

Gli switch possono gestire gruppi di porte in modo che gli host connessi a ciascun gruppo costituiscano una **rete Ethernet virtuale** separata dalle altre (**VLAN**)



## LAN estese

Quando le LAN crescono troppo di dimensione, sono fonte di problemi

- elevato traffico di multicast/broadcast
- necessità di fare routing tra le sottoreti IP
- problemi legati alla sicurezza

Grazie al concetto di LAN virtuali

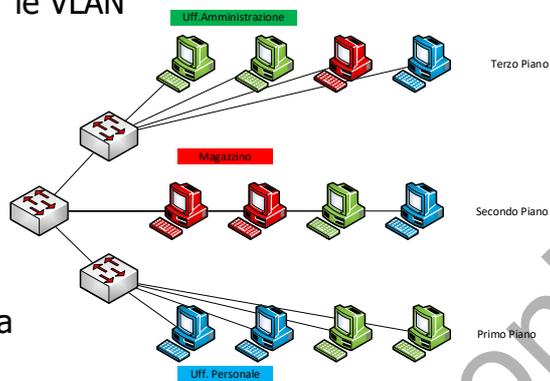
- si evita di dover realizzare reti parallele
- si può avere un'unica infrastruttura fisica
- si possono definire più sottoreti logiche separate

Le LAN virtuali possono coprire

- un singolo switch
- l'intera LAN estesa

## Come "etichettare" le VLAN

Come "etichettare" le VLAN



Divisione:

- ✓ Amministrativa
- ✓ Gestionale
- ✓ Proprietaria

### Per ragioni di sicurezza

- si possono mantenere completamente separate le reti tramite l'impiego delle VLAN
- non c'è comunicazione tra le VLAN (separazione totale!)
- si possono connettere le VLAN in modo più o meno sicuro tramite Access-List su router, Layer 3 Switch o Firewall

Per risolvere **conflitti di competenze** tra enti diversi di una grande organizzazione

- le VLAN vengono connesse tramite router, Layer 3 Switch

Per **limitare il traffico** di broadcast

- le VLAN vengono connesse tramite router, Layer 3 Switch

Reti di elaboratori

## Virtual LAN

- ★ Gli Switch consentono di realizzare delle LAN virtuali attraverso **colorazione** del traffico
- ★ Lo switch divide il traffico in funzione della virtual LAN di appartenenza.
- ★ Un utente appartiene ad un gruppo perché la sua macchina è stata connessa ad una certa porta sullo switch.
- ★ Problemi se l'utente deve cambiare posizione

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.175

175

Reti di elaboratori

## Virtual LAN

- ★ In dorsale i pacchetti di VLAN distinte si differenziano per un "protocollo di colorazione"
- ★ Ciascuna VLAN è identificata da un numero, detto VID (Vlan ID), che va da 1 a 4094 (0 e 4095 sono riservati)
- ★ Nel 1998 nasce lo standard 802.1q per l'integrazione di VLAN multivendor
- ★ Campo aggiuntivo nell'intestazione MAC (4 byte tra gli indirizzi ed il campo lunghezza/tipo di protocollo) da usare come VLAN-ID sulle connessioni tra switch
- ★ In tale campo sono anche previsti 3 bit di priorità per gestire l'accodamento delle trame negli switch
- ★ protocolli proprietari Cisco VLAN Trunking Protocol (VTP) e Cisco Inter-Switch Link (ISL)

Fausto Marcantoni Chapter 5 Data Link e LAN 5.176

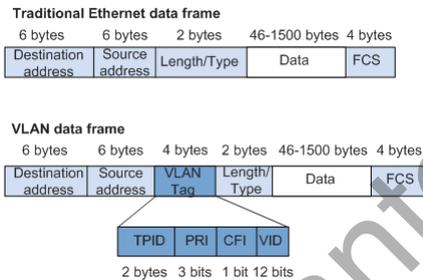
176

### Frame Tagging

si utilizza la tecnica di incapsulamento il pacchetto Ethernet, Token Ring o FDDI viene incapsulato in un pacchetto proprietario - soluzione Cisco ISL (Inter-Switch Link)

### Packet Tagging

si inserisce un header aggiuntivo (VLAN-ID) nella frame MAC; metodo previsto da 802.1Q



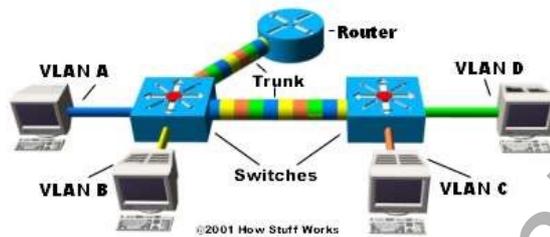
### Fields in a VLAN tag

Field	Length	Description	Value
<b>TPID</b>	2 bytes	Tag Protocol Identifier (TPID), indicating the frame type.	The value 0x8100 indicates an IEEE 802.1Q frame. An 802.1Q-incapable device discards 802.1Q frames.  Device vendors can define their own TPID values, and users can then change the value to realize interconnection of devices from different vendors.
<b>PRI</b>	3 bits	Priority (PRI), indicating the 802.1p priority of a frame.	The value is in the range from 0 to 7. A larger value indicates a higher priority. If congestion occurs, the switch sends packets with the highest priority first.
<b>CFI</b>	1 bit	Canonical Format Indicator (CFI), indicating whether a MAC address is encapsulated in canonical format over different transmission media. CFI is used to ensure compatibility between Ethernet and token ring networks.	The value 0 indicates that the MAC address is encapsulated in canonical format, and the value 1 indicates that the MAC address is encapsulated in non-canonical format. The CFI field has a fixed value of 0 on Ethernet networks.
<b>VID</b>	12 bits	VLAN ID (VID), indicating the VLAN to which a frame belongs.	The VLAN ID is in the range from 0 to 4095. The values 0 and 4095 are reserved, and therefore available VLAN IDs are in the range from 1 to 4094.

## Standard VLAN

Il **VLAN Trunking Protocol (VTP)** è stato sviluppato da Cisco per ridurre lo sforzo di amministrazione delle VLAN in una rete commutata, ed è un protocollo proprietario Cisco.

Lo standard IEEE paragonabile al VTP ed in uso presso altri produttori è il **GARP VLAN Registration Protocol (GVRP)**, e più recentemente **Multiple VLAN Registration Protocol (MVRP)**.



## Fine

The word 'FINE' is rendered in a 3D, blocky font with a textured, brick-like surface. The letters are dark green on top and bottom, and light brown in the middle. The word is positioned centrally on the slide.