



**POLITECNICO**  
MILANO 1863



# **Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI**

**Pierpaolo Boffi**

Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI



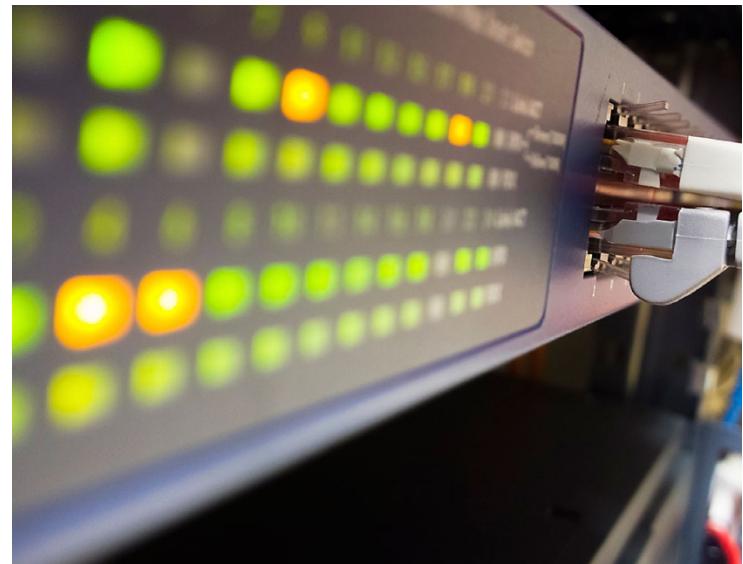
**POLITECNICO**  
MILANO 1863



# 9 – Livello di Linea

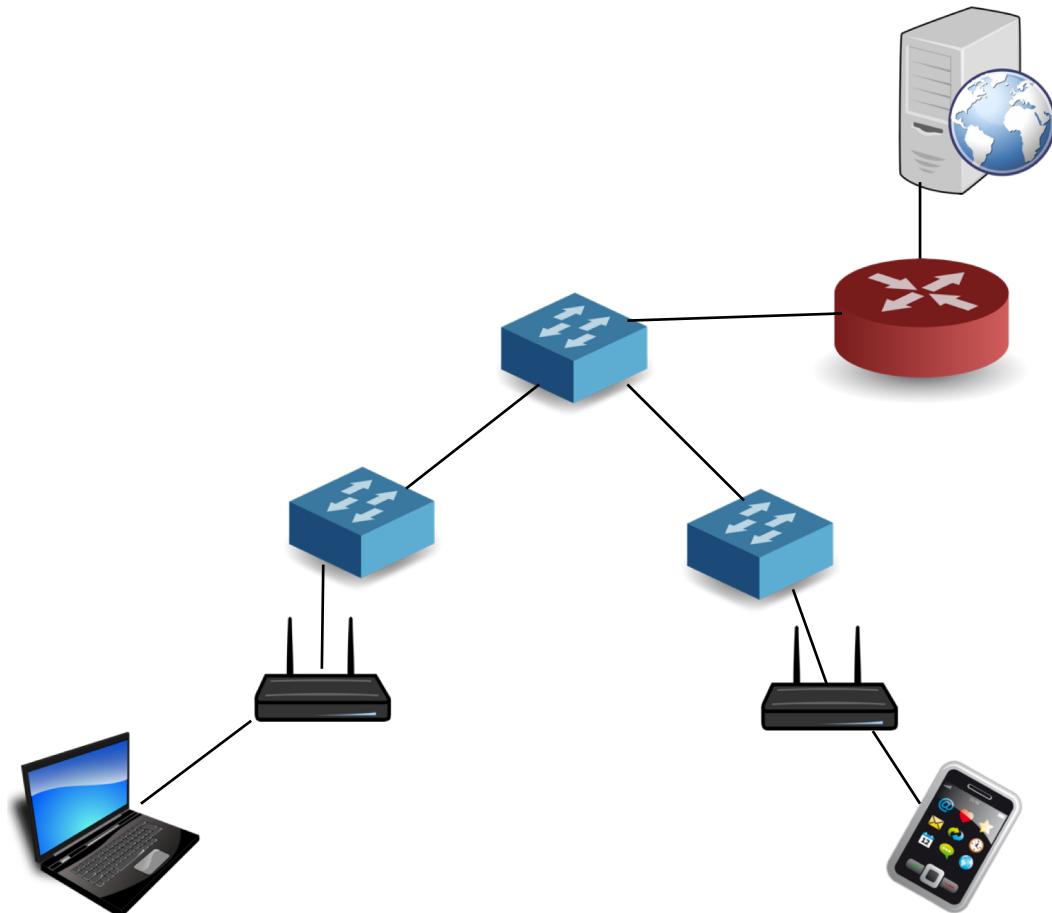
# Agenda

- **Introduzione al livello di linea**
- **Collegamenti punto-punto**
- **Collegamenti broadcast**



# Dal livello di rete al livello di linea

- Abbiamo visto che i router possono scambiare pacchetti IP attraversando collegamenti e reti locali di tipo eterogeneo
- Ma come viaggiano i pacchetti tra un router ed il successivo?
- Esistono indirizzi a livello di rete locale?
- Che differenza c'è tra i collegamenti diretti (P2P) e quelli condivisi (ad es. WiFi)?



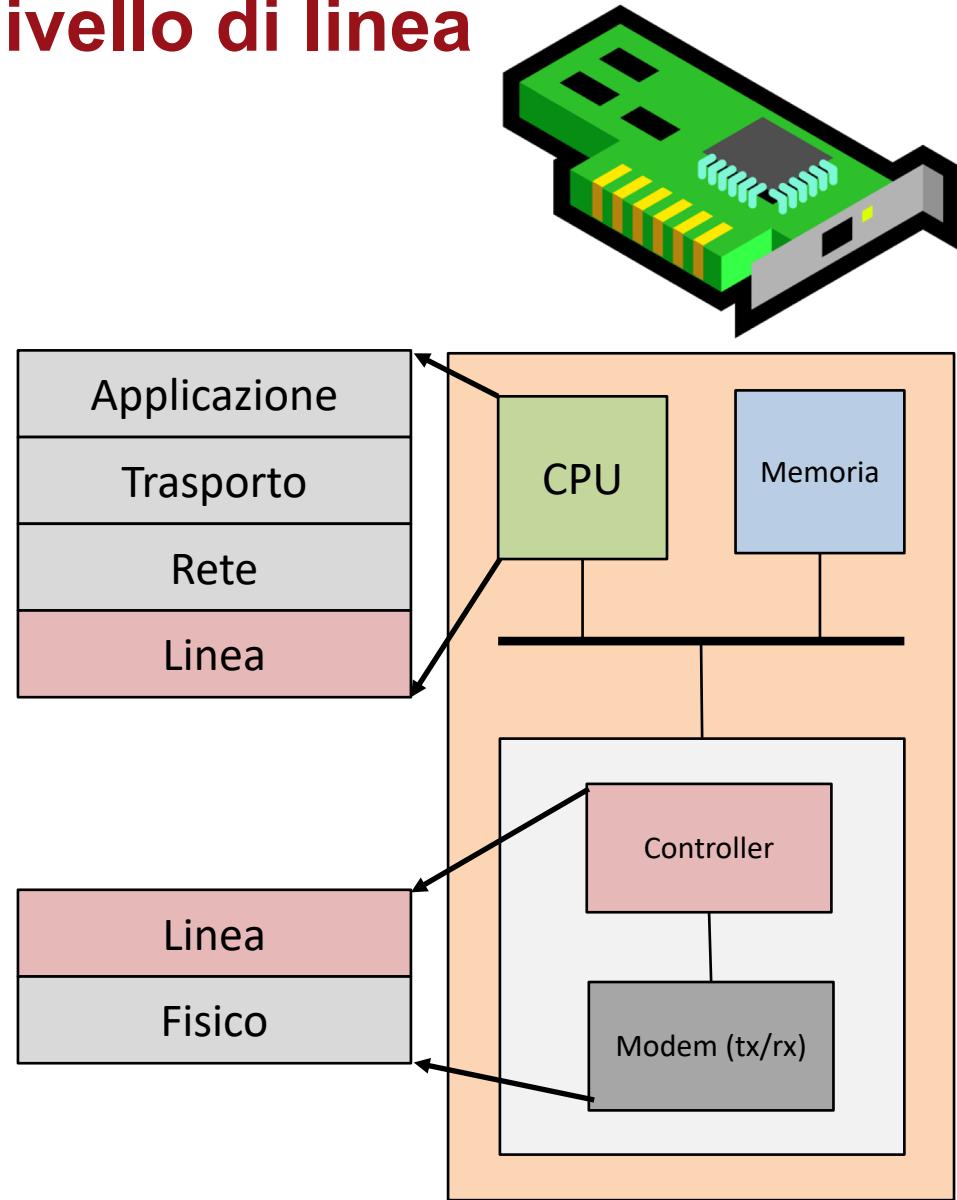
# Il livello di linea

- E' il primo livello logico presente nella modalità a pacchetto
- Funzionalità
  - Identificare logicamente i bit o gruppi di bit scambiati col livello fisico (framing)
  - Segnalare o correggere gli errori (opzionale)
  - Multiplazione (opzionale)
  - Accesso multiplo (opzionale)



# Dov'è implementato il livello di linea

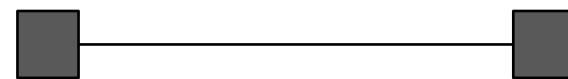
- Il livello di linea è normalmente parte della scheda di rete (**Network Interface Card - NIC**)
- Insieme al livello fisico è di solito implementato su chipset dedicato (controller)
- Alcune delle funzionalità (gestione degli indirizzi, preparazione della trama) sono svolte in software dall'host



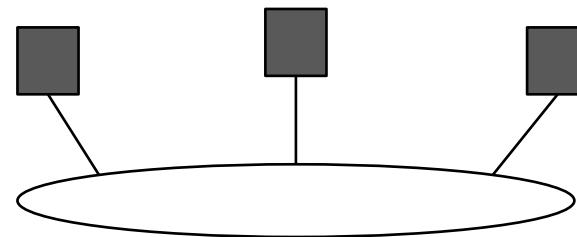
# Tipi di livelli di linea

- **Esistono fondamentalmente tre tipologie di livelli di linea:**

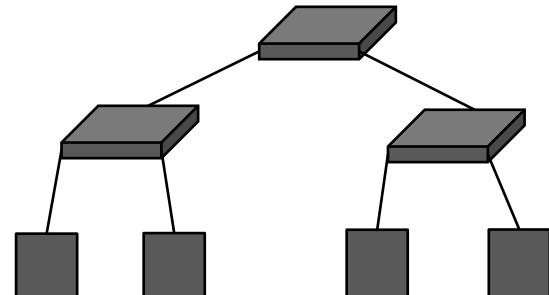
- Collegamenti punto-punto (P2P)



- Collegamenti broadcast

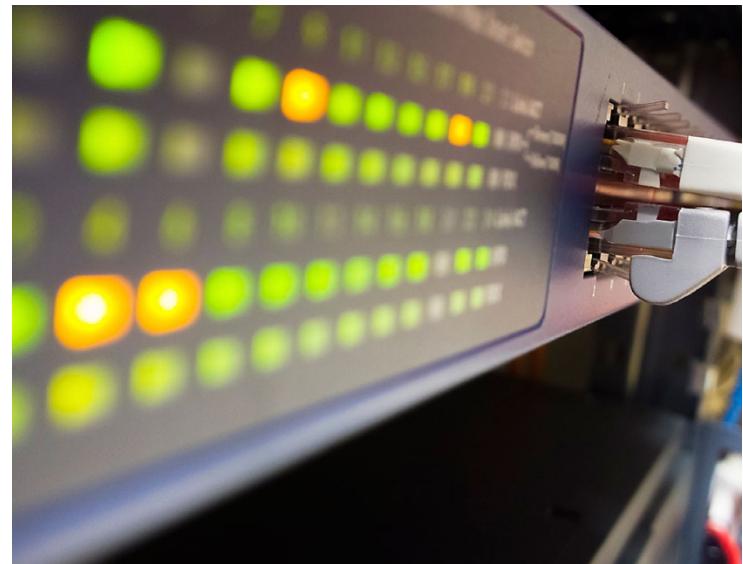


- Collegamenti commutati  
(variante del P2P ma con altri elementi di rete locale)



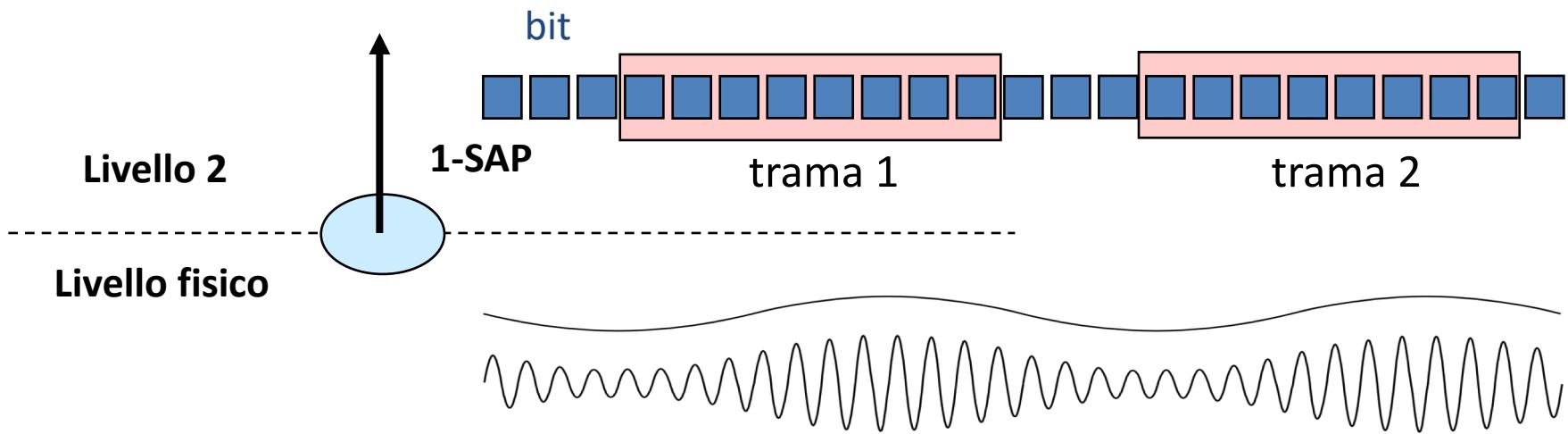
# Agenda

- Introduzione al livello di linea
- Collegamenti punto-punto
- Collegamenti broadcast



# La costruzione della trama

- La prima funzione del livello logico è di individuare il significato dei bit scambiati con il livello fisico

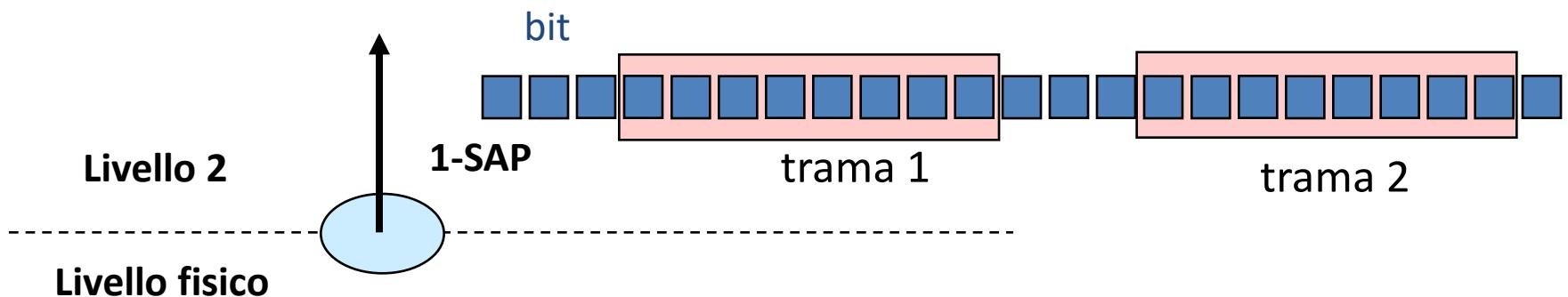


- Allo scopo i bit sono raggruppati in una struttura dati definita dal protocollo e chiamata “trama” (PDU-2)



# La costruzione della trama

- Occorre un mezzo per identificare la posizione delle varie trame all'interno del flusso di bit



- Per questo si usano
  - i delimitatori di trama (particolare stringa di bit)
  - o segnalazioni passate dal livello fisico



# Protocolli orientati al bit

- Si utilizzano dei “flag” (particolari sequenze di bit) per trovare l'allineamento di trama
- Esempio: HDLC
  - Sequenza di flag all'inizio e alla fine di una trama

0 1 1 1 1 1 1 0

- Problema: come impedire una casuale presenza della sequenza di flag nei dati ?



Soluzione:

Bit stuffing: si inserisce uno 0 dopo aver osservato cinque 1 consecutivi



# Bit Stuffing

informazione  
da trasmettere

1111000111111000010010101111101

inserimento bit di stuffing dopo 5 “1”

trama 0111110 111100011111010000100101011111001 0111110  
flag flag

ricezione 0111110 111100011111010000100101011111001 0111110  
↑  
riconoscimento  
flag d'inizio      ↑  
eliminazione di un bit  
dopo 5 uno consecutivi      →  
riconoscimento  
flag di fine



# Controllo d'errore

- Abbiamo già trattato il controllo d'errore e la ritrasmissione (ARQ) per il livello di trasporto
- A differenza del livello di trasporto dove l'obiettivo è il recupero dei segmenti persi, nel livello di linea l'obiettivo è il recupero degli errori di livello fisico



# Multiplazione

- Nei collegamenti punto-punto i protocolli di linea possono essere multiplati su più canali fisici
- In alcuni casi un canale viene diviso in più sotto-canali a livello fisico
- Quest' operazione viene definita **multiplazione fisica**



# Multiplazione fisica

- La multiplazione a livello fisico consiste nel suddividere la capacità di un canale a velocità costante in sottocanali di velocità costante (e inferiore)



# Multiplazione fisica

- **Si distingue per la caratteristica fisica attraverso la quale i diversi segnali vengono separati**
  - Divisione di spazio
  - Divisione di frequenza (FDM Frequency Division Multiplexing)
  - Divisione di tempo (TDM Time Division Multiplexing)
  - Divisione di codice (CDM Code Division Multiplexing)
  - Divisione di lunghezza d'onda (WDM Wavelength Division Multiplexing)



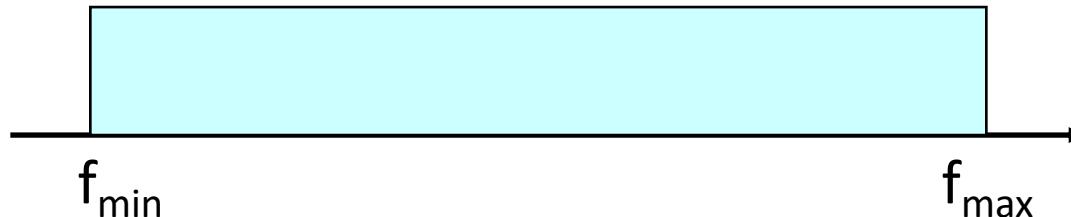
# Multiplazione a divisione di spazio

- L'esempio tipico si ha in un cavo a coppie, usato per concentrare i doppini d'utente in telefonia
- Oppure in cavi che portano diverse fibre ottiche
- ...

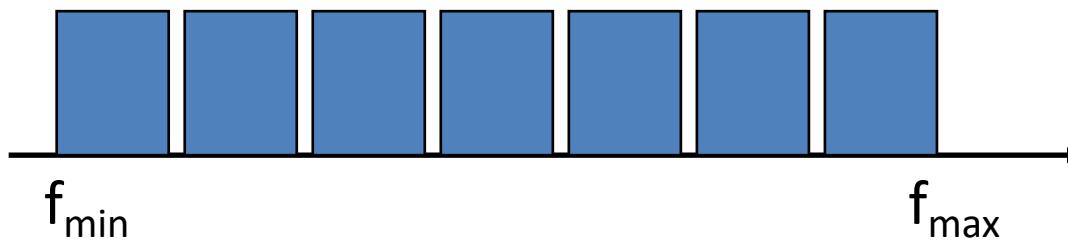


# Multiplazione FDM

- Il mezzo trasmittivo è caratterizzato da una banda di frequenze utilizzabili



- la banda complessiva può essere divisa in sotto-bande cui associare un canale

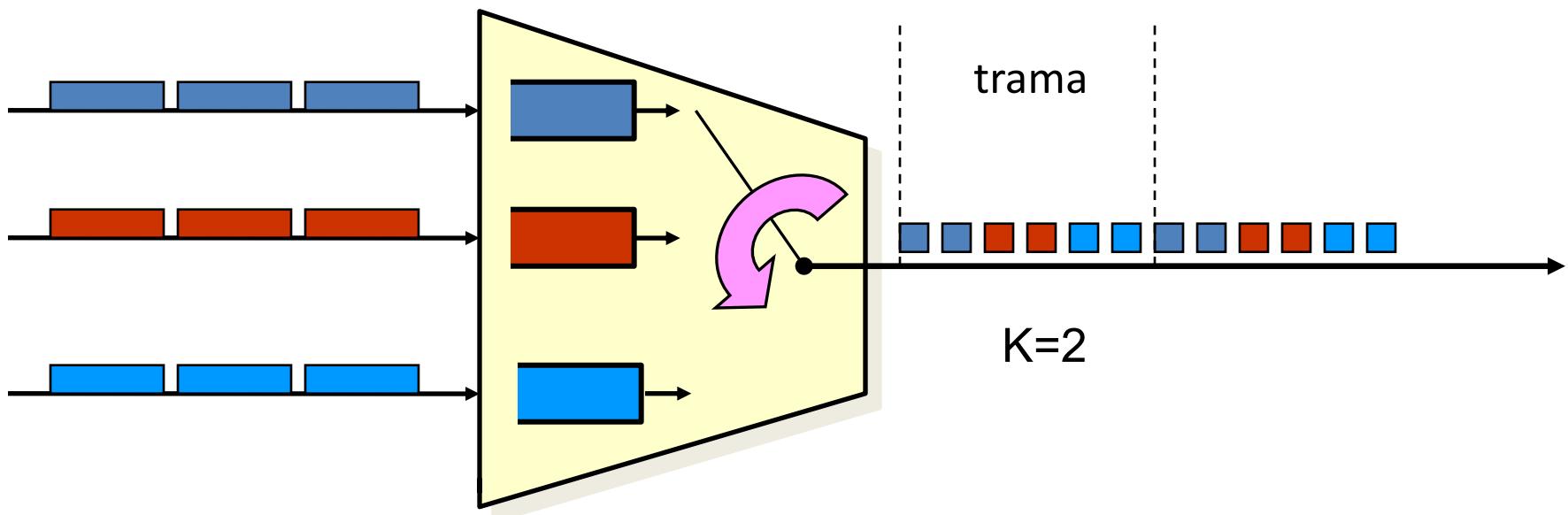


- Esempi: Digital TV, ADSL, ...



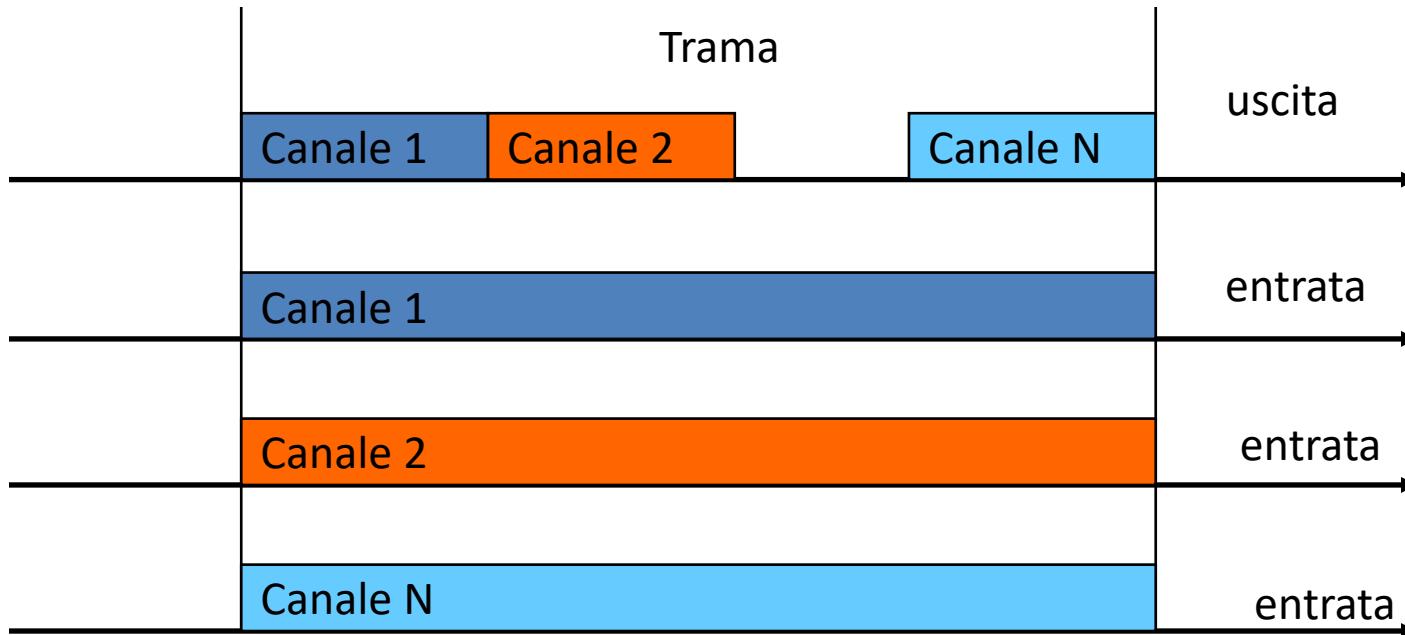
# Multiplazione TDM

- I bit di N flussi vengono raccolti in code e trasmessi sul flusso di uscita a gruppi di K (interlacciamento di K bit)



# Multiplazione TDM

- La durata della trama deve uguagliare l'intervallo di tempo in cui sul singolo canale in entrata arrivano i bit in numero pari a quelli trasmessi nella trama



# TDM: relazioni fra velocità

V: velocità del flusso tributario (entrata)

W: velocità del multiplex

N: n. di tributari

k: grado di interlacciamento (bit nello slot)

T<sub>T</sub>: durata della trama

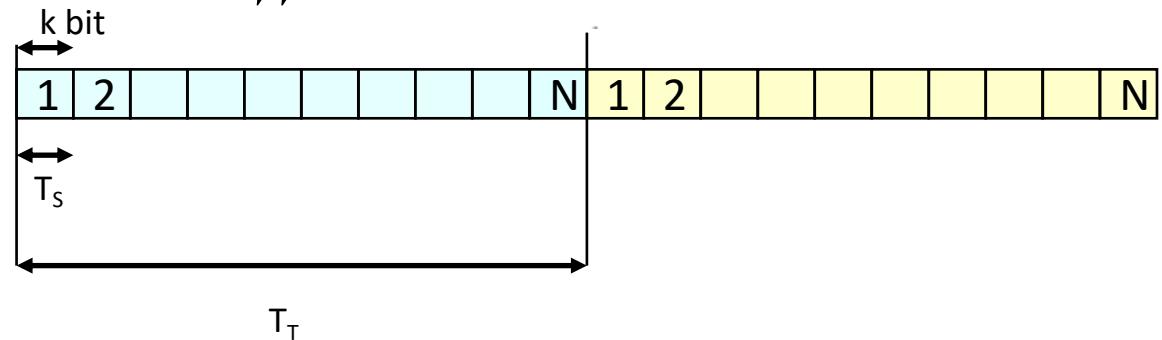
T<sub>S</sub>: durata dello slot

$$T_T = \frac{k}{V}$$

$$V = \frac{k}{T_T} = \frac{W}{N}$$

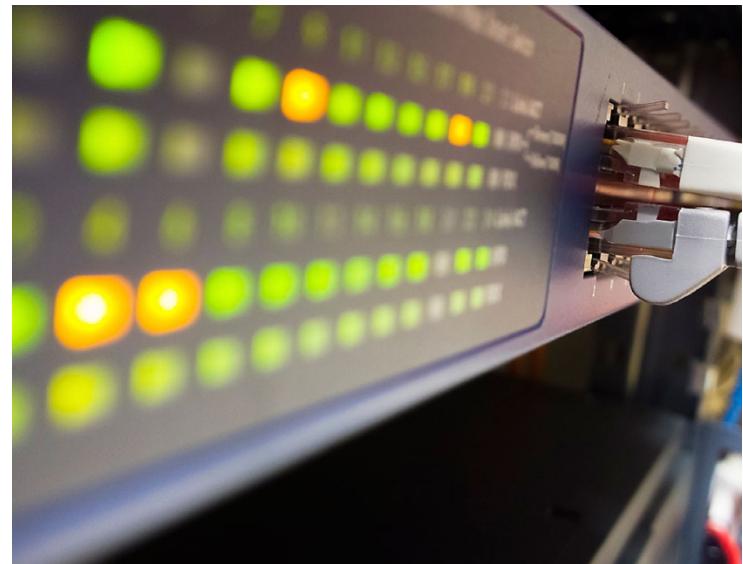
$$T_T = N \frac{k}{W}$$

$$T_S = \frac{T_T}{N}$$



# Agenda

- Introduzione al livello di linea
- Collegamenti punto-punto
- Collegamenti broadcast



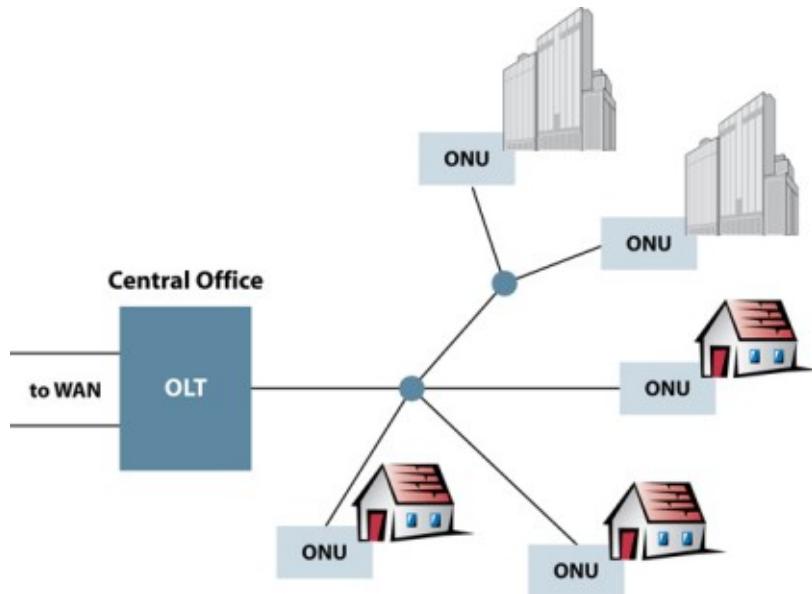
# La rete broadcast

- All'inizio della storia di Internet quando i nodi della rete ARPANET gestivano collegamenti dell'ordine di poche decine di kbps, esistevano già reti locali con velocità dell'ordine dei Mbps
- Il **segreto era il canale broadcast** senza funzione di rete (commutazione/switching)
- **Tutti ricevono le trame, solo il destinatario preleva la trama e la inoltra ai livelli superiori**



# Le reti broadcast oggi

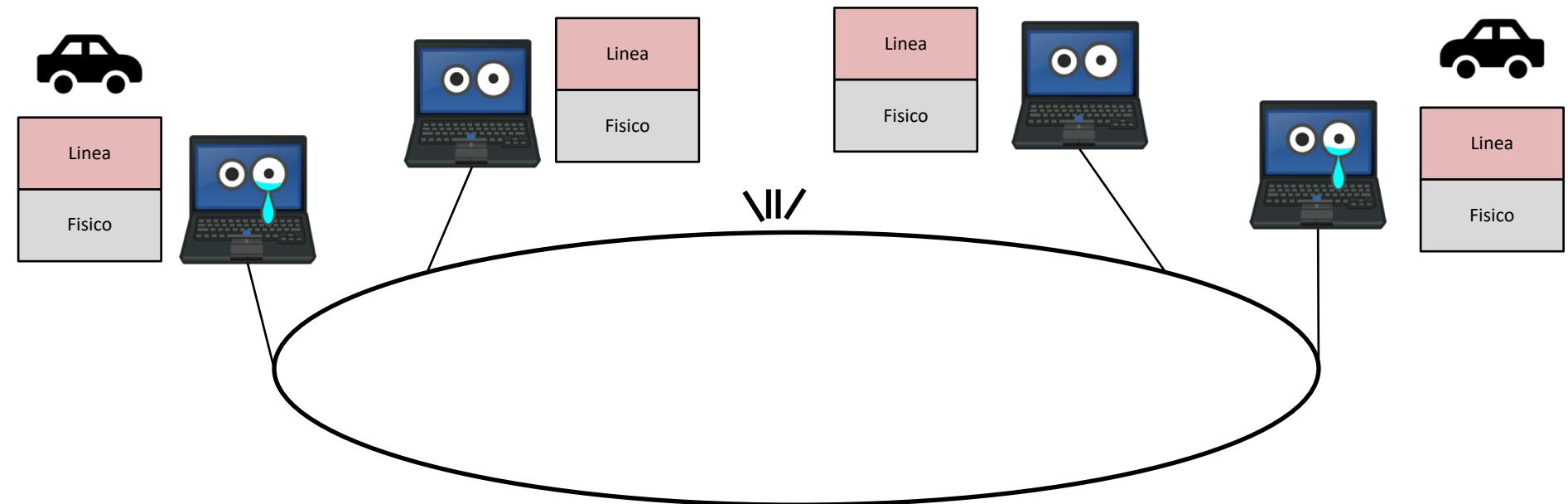
WiFi



Passive Optical Networks



# Canale broadcast



- Ma sul canale broadcast le trasmissioni contemporanee (o quasi) provocano “collisioni”



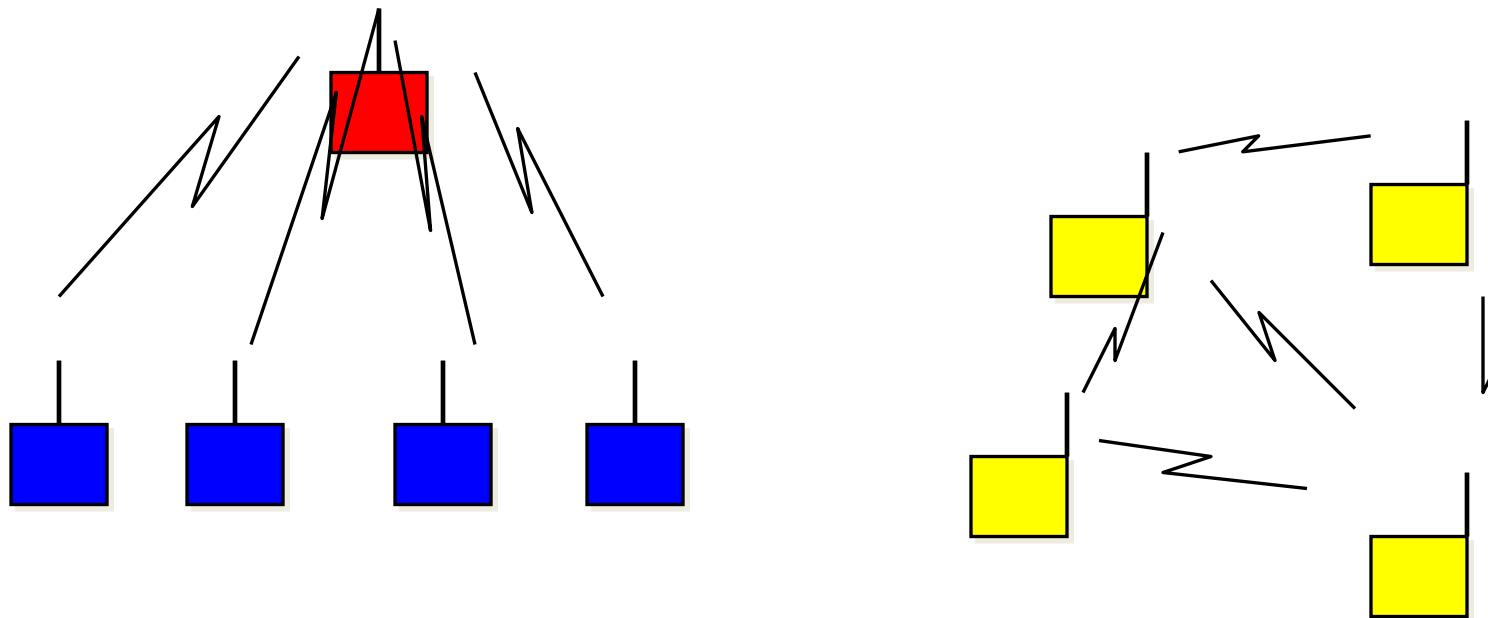
# L'accesso multiplo

- L'accesso multiplo è la funzione che consente di regolare l'accesso al canale ed evitare le collisioni
- La funzione di accesso multiplo può essere implementata a livello del protocollo di linea gestendo l'accesso pacchetto per pacchetto



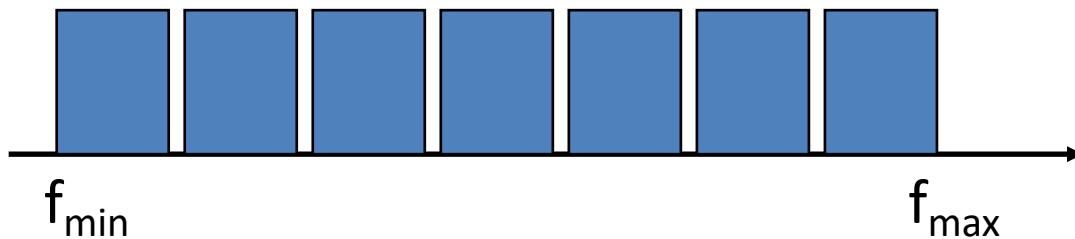
# L'accesso multiplo fisico

- L'accesso multiplo fisico è equivalente alla multiplazione, ma è relativo al caso in cui i diversi sottocanali sono gestiti da trasmettitori diversi
- **Esempio:** trasmissione radio con mezzo condiviso



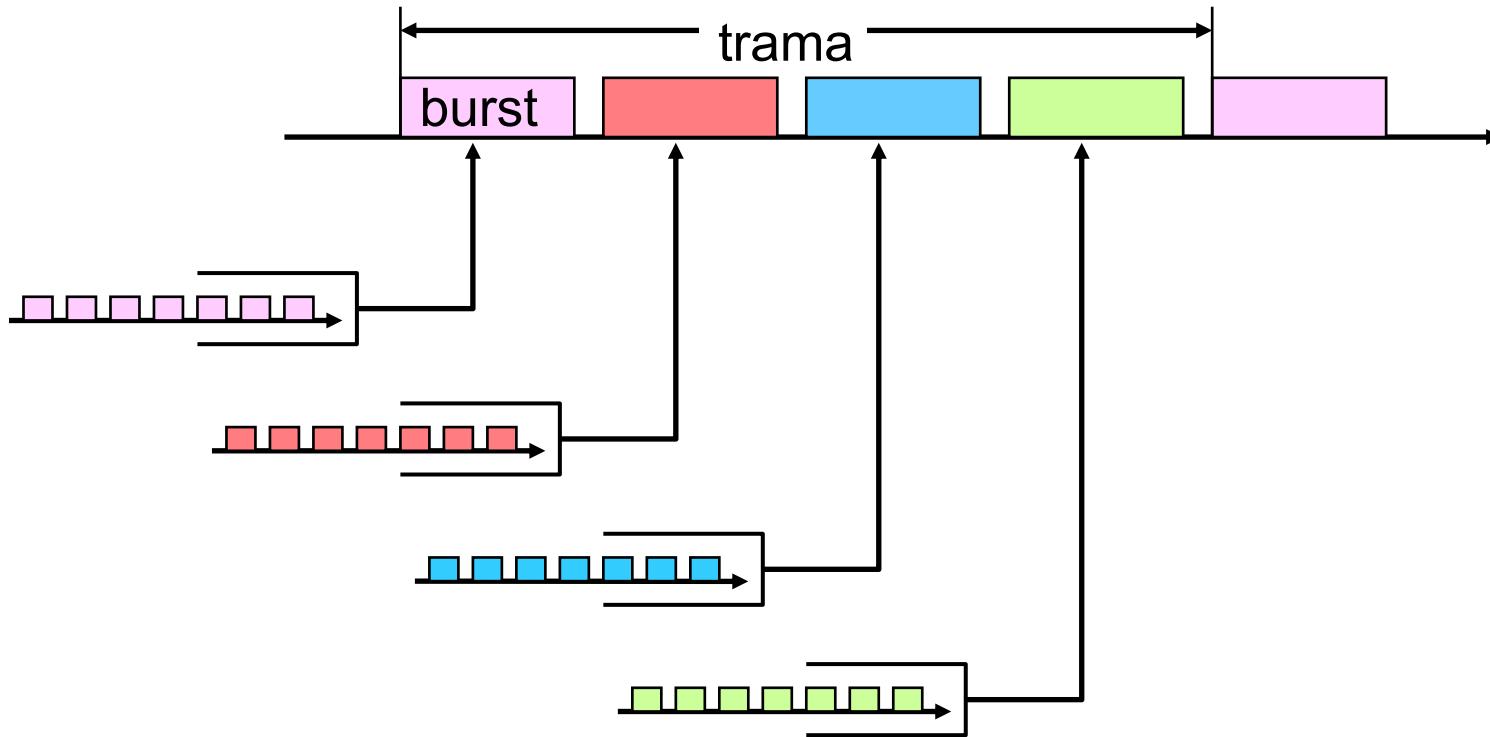
# FDMA (Frequency Division Multiple Access)

- E' completamente equivalente al FDM
- Esempi: Canali WiFi, canali cellulari, ...



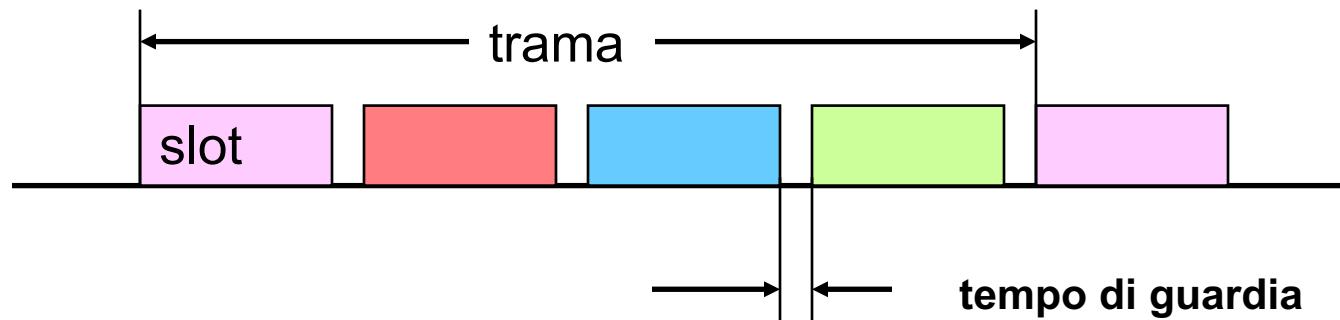
# TDMA

- E' l'analogo del TDM
- Vengono definiti degli "slot" temporali dedicati alla trasmissione delle diverse stazioni



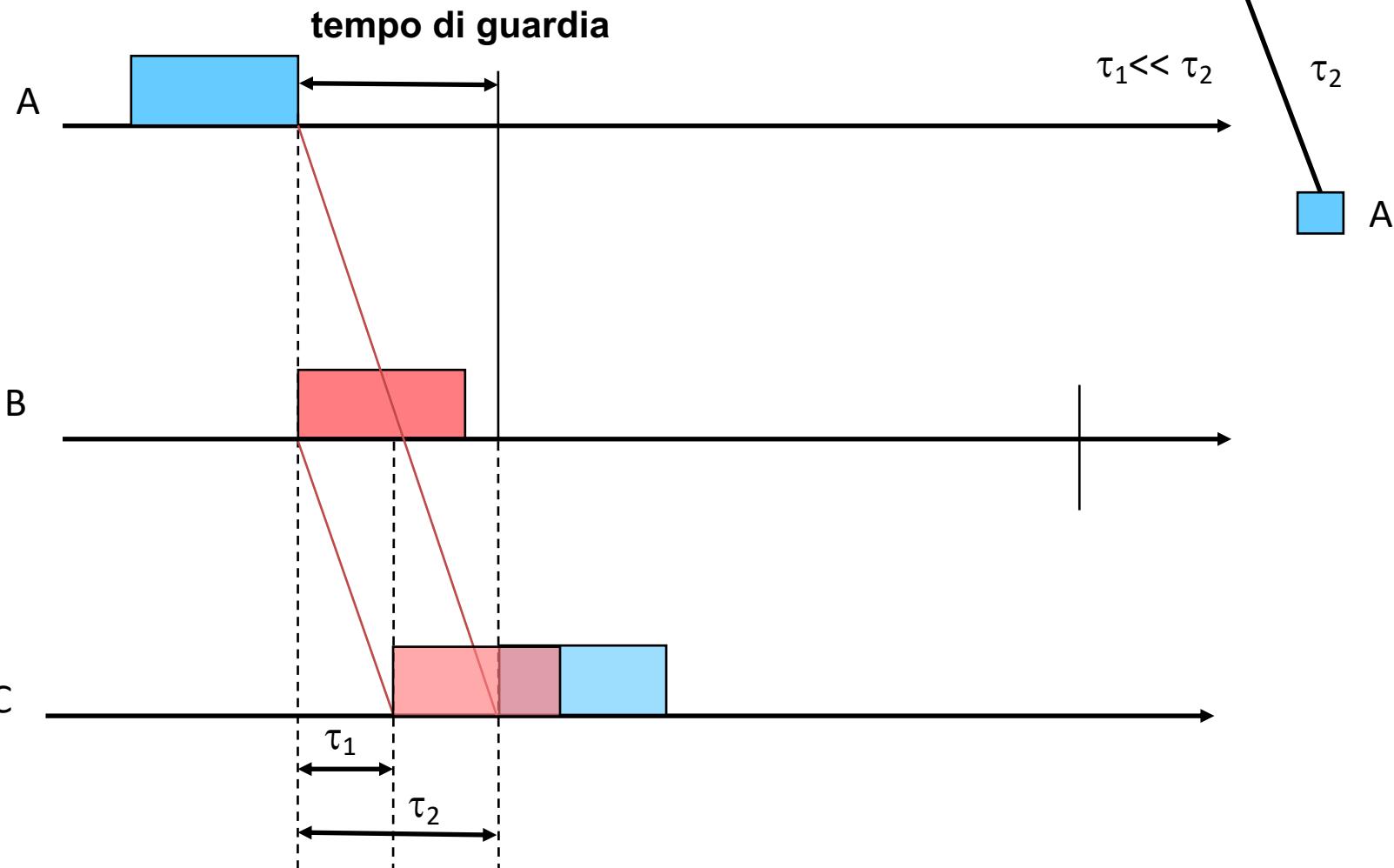
# TDMA

- Il flusso di bit fra i vari utenti generalmente non è sincrono (con alcune importanti eccezioni)
- Il ricevitore deve sincronizzarsi su un particolare flusso
- Vanno adottati “tempi di guardia” fra gli slot



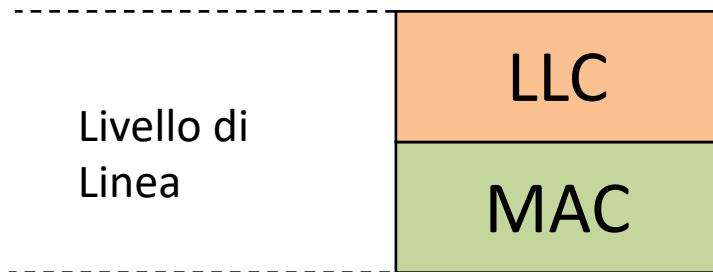
# TDMA

- Perché i tempi di guardia?



# Accesso multiplo casuale livello di linea

- Al livello di linea l'accesso multiplo è gestito con dei meccanismi che regolano l'istante di trasmissione dei singoli pacchetti
- Il coordinamento può essere gestito da una entità centrale, ma molto più spesso (e nei casi di nostro interesse) è gestito in modo distribuito dalle singole stazioni
- In questi casi il livello di linea è diviso in due sotto-livelli: **MAC (Medium Access Control), LLC (Logical Link Control)**

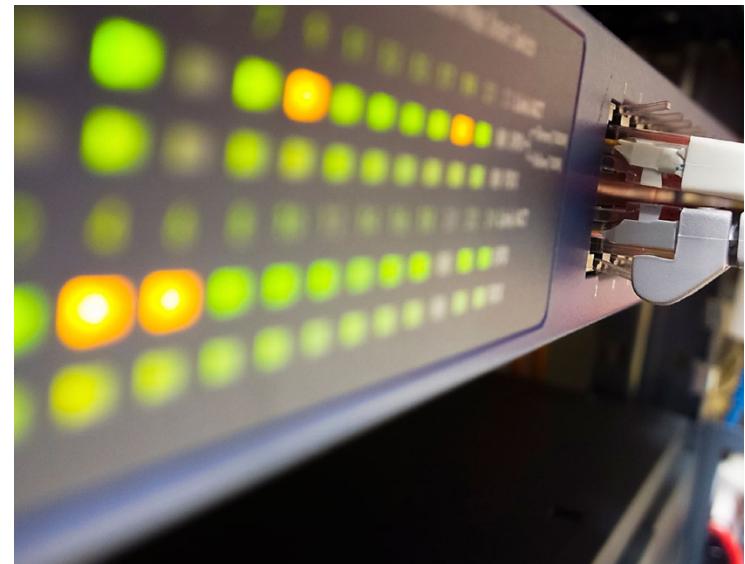


Il livello MAC si occupa dell'accesso multiplo mentre il livello LLC delle altre funzioni tipiche del livello di linea



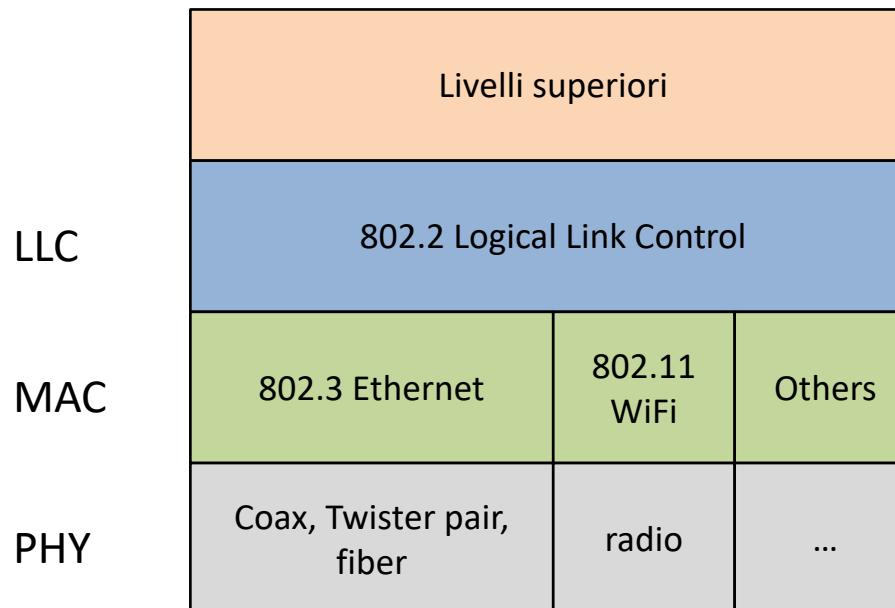
# Agenda

- Reti locali



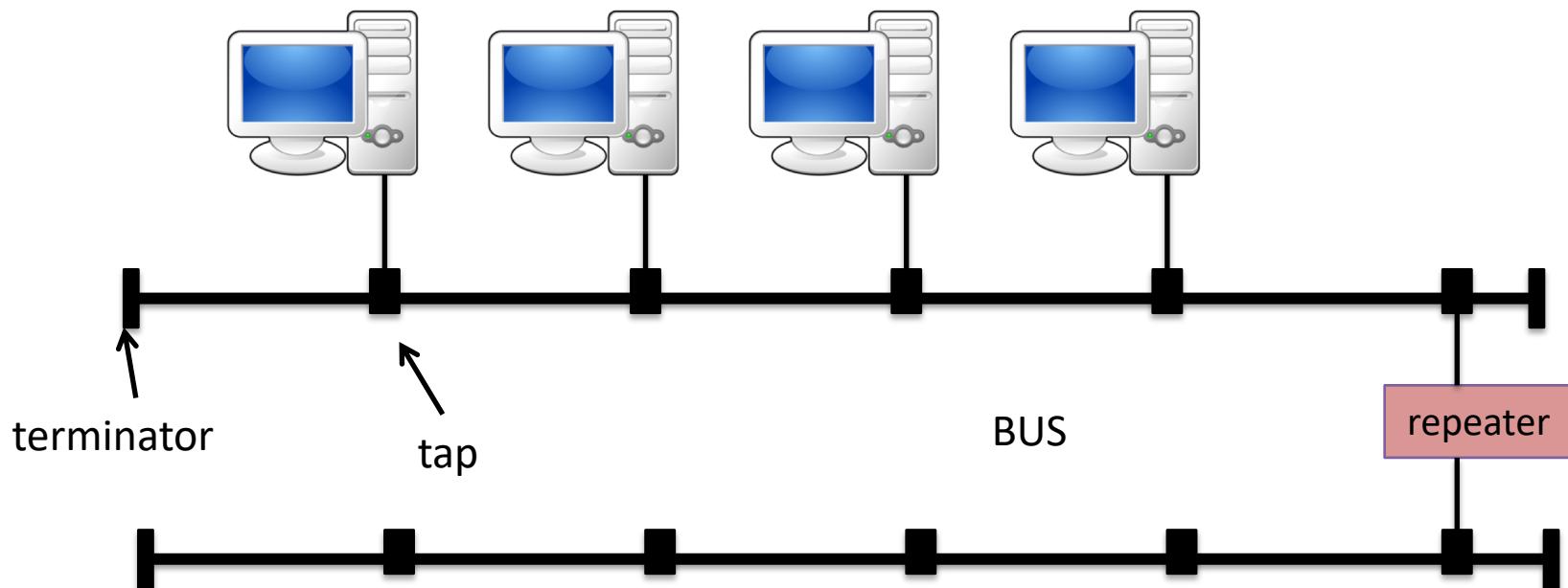
# Tecnologie di reti locali (LAN)

- IEEE (Institute for Electrical and Electronics Engineers) è il principale organismo di standardizzazione delle tecnologie per reti locali con il suo **802 Working Group** project
- Differenti tecnologie sono standardizzate da IEEE 802: i livelli LLC e superiori sono in comune, MAC e Livello Fisico sono diversi



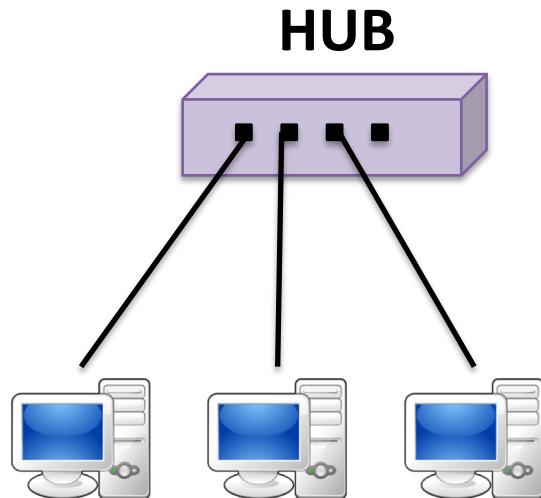
# Ethernet

- **Ethernet** è stato progettato da Xerox (1976) e poi standardizzato da **IEEE 802.3 WG**
- Il mezzo fisico inizialmente adottato era un cavo coassiale passivo (BUS) a cui si connettevano le stazioni mediante un transceiver



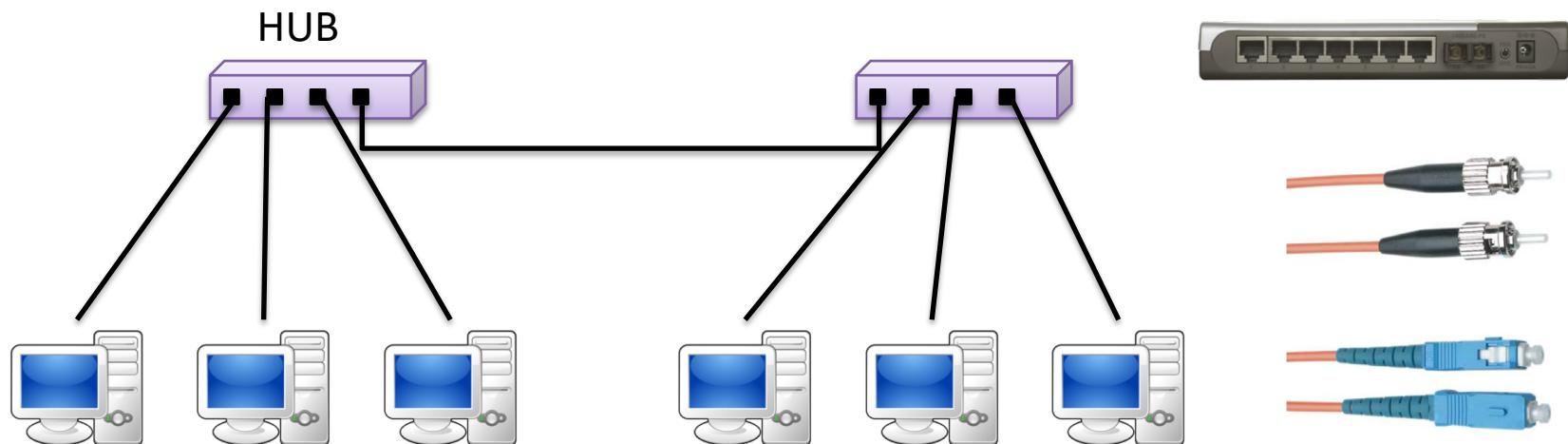
# Ethernet – topologie a stella

- A partire da metà anni '90, i BUS con cavo coassiale sono stati sostituiti da topologie a stella
- Le topologie a stella sono basate su **ripetitore** di segnale a livello fisico multi-porta, denominati **HUB** (stesso segnale replicato su tutte le uscite)
- Il mezzo trasmissivo è rimpiazzato da **doppini in rame (twisted pairs)** (Ethernet 10BaseT)



# Fast Ethernet

- A fine anni 90', il rate di trasmissione viene aumentato da 10 Mb/s a 100 Mb/s con **Fast Ethernet**
- In aggiunta ai twisted pair (100BaseTX), si iniziano a usare le **fibre ottiche** (100BaseFX)

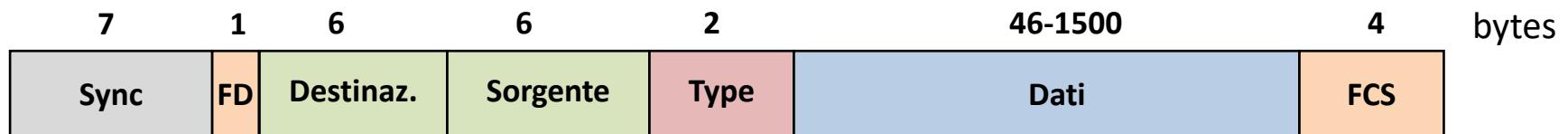


# Gigabit Ethernet

- Nei primi anni 00', il rate di trasmissione viene aumentato da 100 Mb/s a 1 Gb/s con **Gigabit Ethernet** e poi a 10 Gb/s a metà anni 00' con **10 Gigabit Ethernet**
- Molti mezzi trmissivi sono utilizzati: ancora doppini di diversi tipi, fibre ottiche multimodali e monomodali



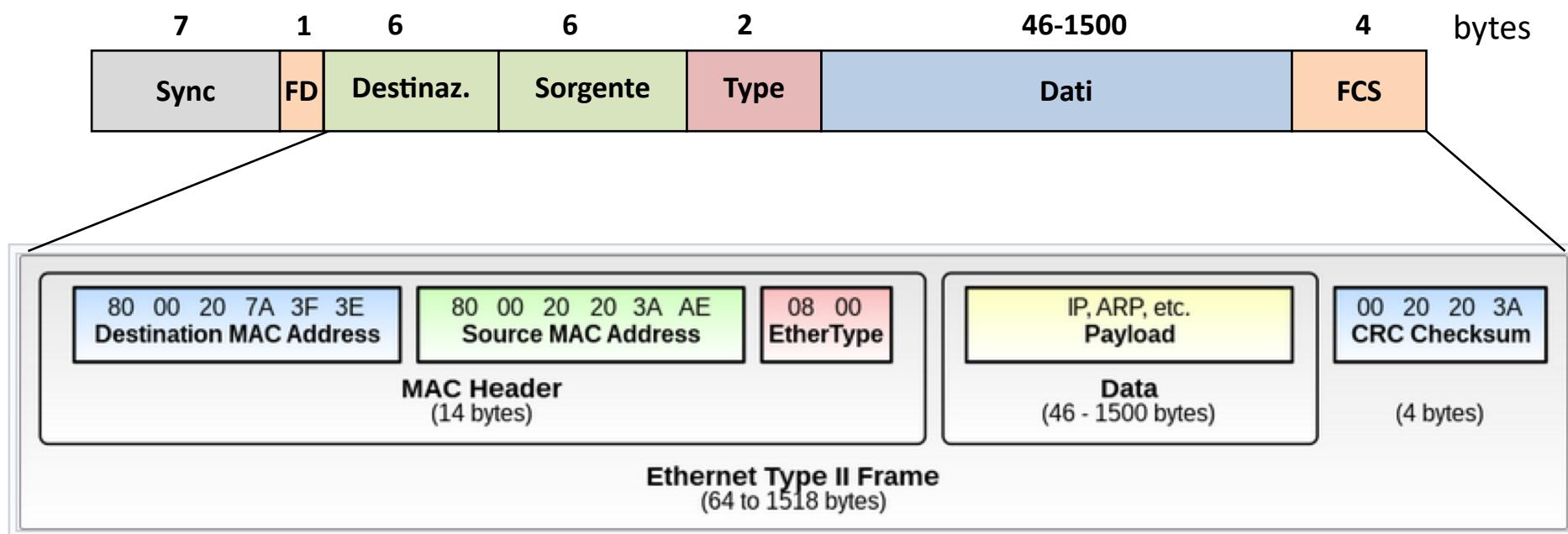
# Trame Ethernet



- **Sync:** Preamble di sincronizzazione di livello fisico (`x7 10101010`)
- **FD:** Delimitatore di inizio trama (`10101011`)
- **Indirizzi:** (Destinazione e sorgente): indirizzi di 48 bit definiti dal costruttore nella scheda di rete (NIC)
- **Type:** definisce vari protocolli del livello di rete (ad esempio IP ha il suo Type=08 00) oppure nel caso di frame IEEE 802.3 la lunghezza del campo dati;
- **Dati:** Campo dati per PDU proveniente dal livello superiore (tipicamente pacchetti IP)
- **FCS:** Frame Check Sequence per il controllo d'errore (CRC)



# Trame Ethernet



# Indirizzi

- Gli indirizzi di rete locale sono detti **indirizzi MAC** o **indirizzi fisici**
- Servono per la funzione di filtraggio
- Primi 3 byte identificano il costruttore
- Secondi 3 byte identificano la scheda
- **48 bit di solito indicati con notazione esadecimale (HEX)**
- L'indirizzo con 48 bit a “1” è l'indirizzo broadcast (tutte le stazioni ricevono e processano la trama)

| 48-bit MAC address |          |          |          |          |          |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 00                 | 0C       | 42       | 28       | 79       | 45       |
| 00000000           | 00001100 | 01000010 | 00101000 | 01111001 | 01000101 |

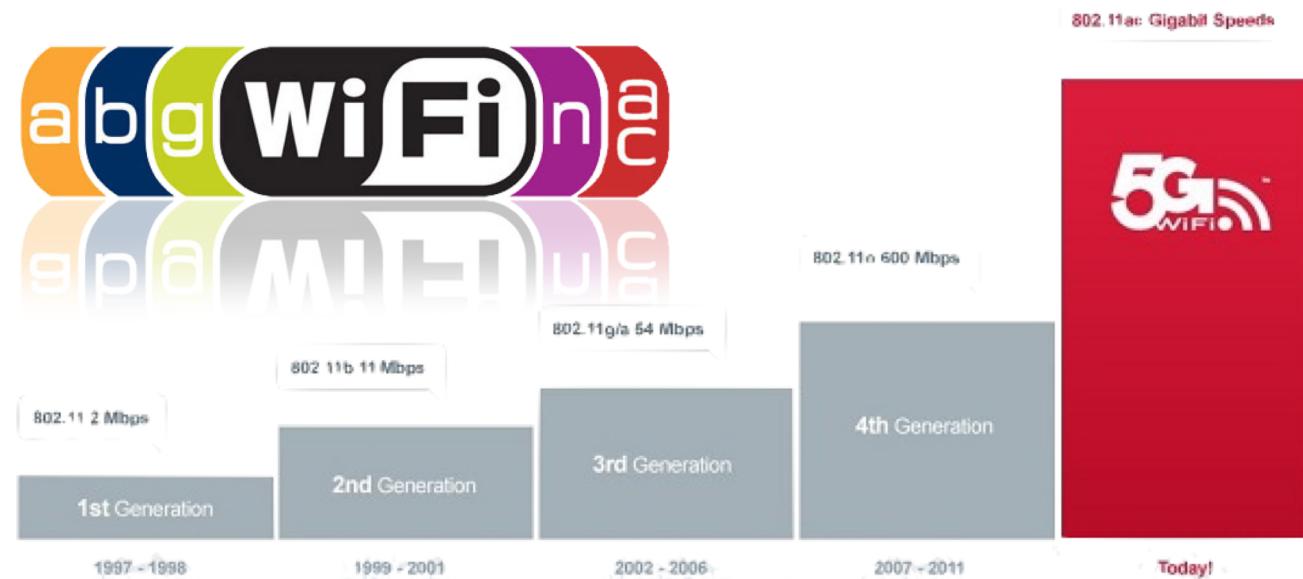
broadcast

FF:FF:FF:FF:FF:FF



# WiFi

- La tecnologia WiFi è standardizzata dal gruppo di lavoro IEEE 802.11
- Rappresenta la versione wireless di Ethernet ed è largamente usata
- Esistono molte versioni di livello fisico che operano a velocità e bande di frequenze diverse



# LAN commutate (switched)

- Finora abbiamo visto LAN con livello di linea broadcast
- Nel caso di Ethernet tuttavia abbiamo una possibilità in più, oggi largamente usate, costituita dalla LAN commutate o switched
- Conosciamo già la commutazione di pacchetto, per implementarla in Ethernet occorre sostituire l'HUB con un dispositivo detto SWITCH (o bridge)

