



POLITECNICO
MILANO 1863

Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI

Prof. Marco Mezzavilla

LABORATORIO
Mercoledì 4 Dicembre 2024
Ore 10:30 Aula GATTI - DEIB Ed. 20

Lezione 15 – Livello di Linea

INDICE

15. LIVELLO DI LINEA

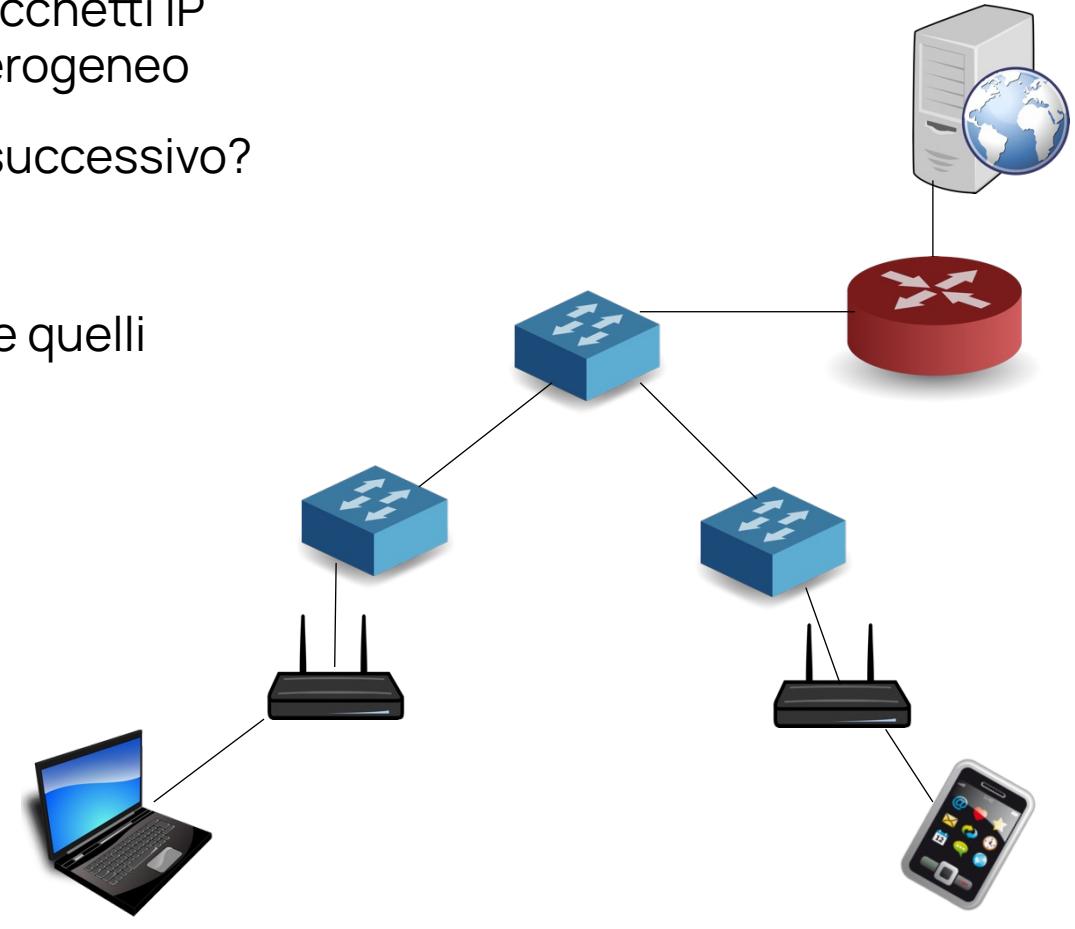
- 1. Introduzione al livello di linea**
- 2. Collegamenti punto-punto**
- 3. Collegamenti broadcast**
- 4. Reti locali**

INTRODUZIONE ALL LIVELLO DI LINEA

01

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)?



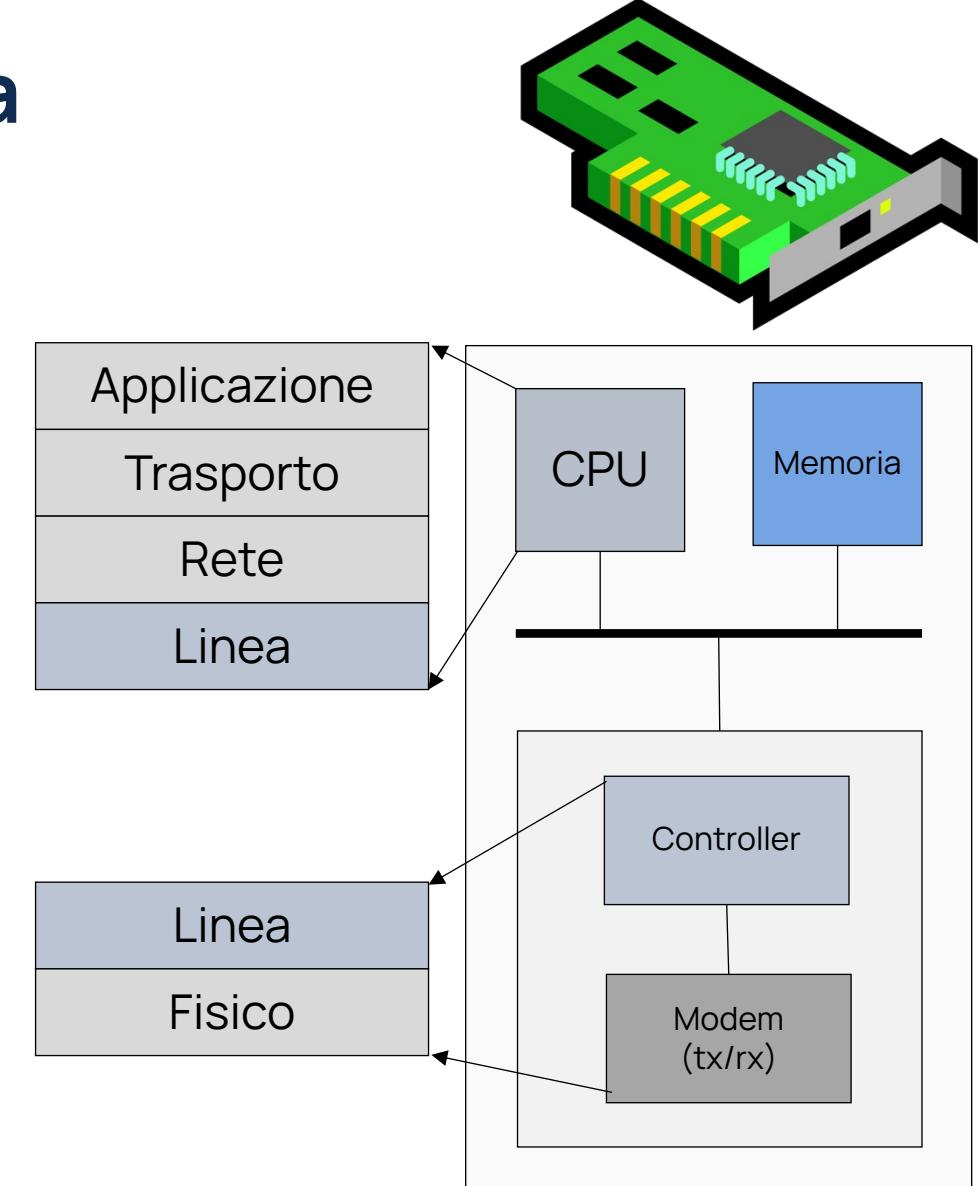
Il livello di linea

- E' il primo livello logico presente nella modalità a pacchetto
 - I bit vengono organizzati in un **frame** (o **trama**) che rappresenta l'unità base del livello di linea
 - Sarà costituita da un header e un payload
- Funzionalità
 - Identificare logicamente i bit o gruppi di bit scambiati col livello fisico (**framing**)
 - Segnalare o correggere gli **errori** (opzionale)
 - Multiplazione** (opzionale)
 - Diverso rispetto alla multiplazione di applicativi gestiti dalle porte, come visto nei livelli superiori
 - Più informazioni provenienti da più terminali (o tributari) vengono multiplate in un unico flusso di bit
 - Accesso multiplo** (opzionale)



Dov'è implementato il livello di linea

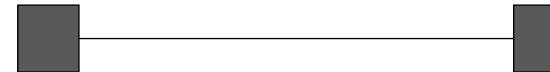
- In generale possiamo dire che il livello di linea è implementato sulla scheda di rete (**Network Interface Card - NIC**)
- Insieme al livello fisico è di solito implementato su chipset dedicato (controller)
- Alcune delle funzionalità (come la gestione degli indirizzi) sono svolte dal sistema operativo dell'host



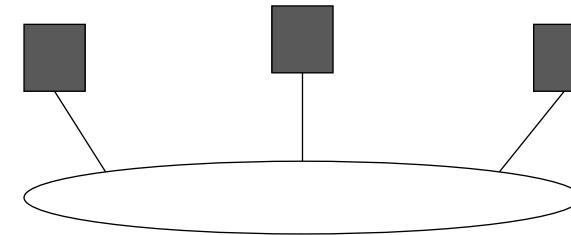
Tipi di livello di linea

- Esistono fondamentalmente tre tipologie di livelli di linea:

- Collegamenti punto-punto (P2P)

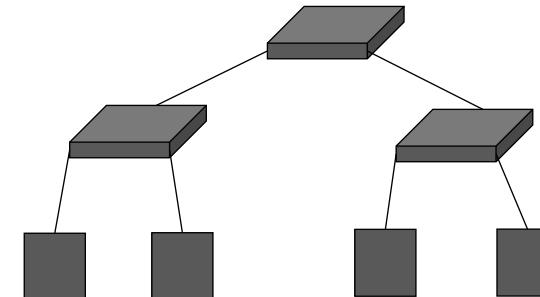


- Collegamenti broadcast



- Collegamenti commutati, 'interruttori'

- variante del P2P ma con altri elementi di rete locale

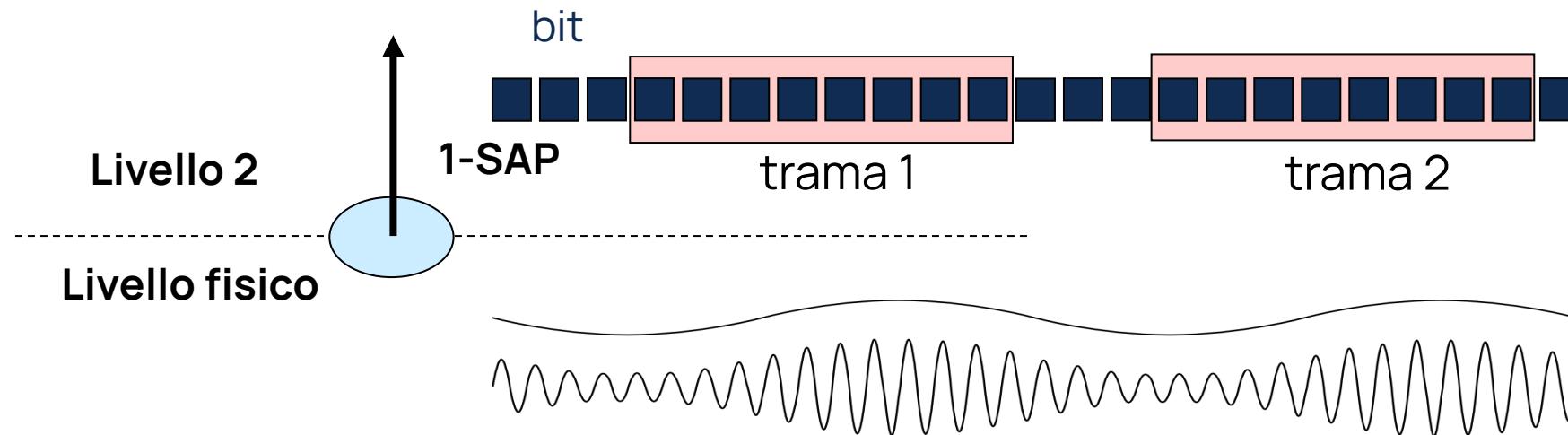


COLLEGAMENTI PUNTO-PUNTO

02

La costruzione della trama

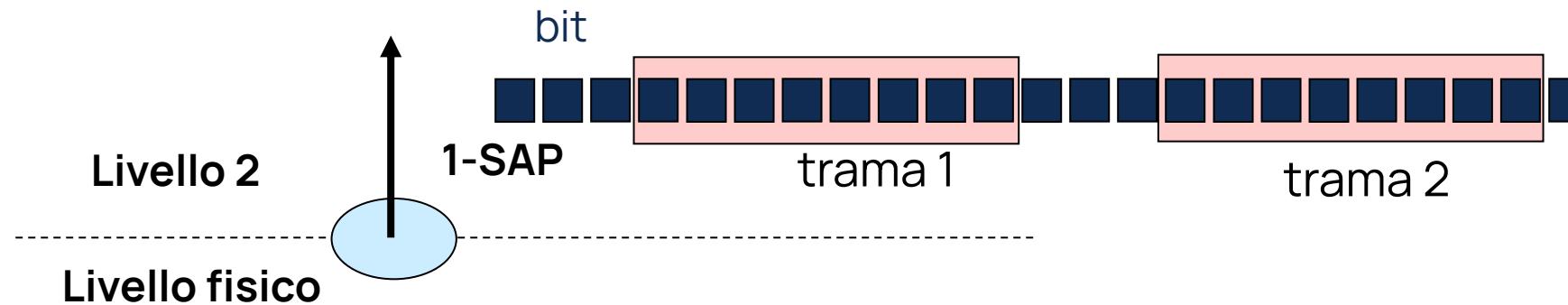
- La prima funzione del livello logico è di individuare il **significato dei bit scambiati con il livello fisico**



- 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 (High-Level Data Link Control)
 - Sequenza di flag all'inizio e alla fine di una trama

0 1 1 1 1 1 0

sei 1 consecutivi

- 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

111100011111100001001010111101

inserimento bit di stuffing dopo 5 "1"

trama 0111110 111100011111010000100101011111001 0111110
flag flag

ricezione ~~0111110~~ 111100011111~~0~~10000100101011111~~0~~01 ~~0111110~~

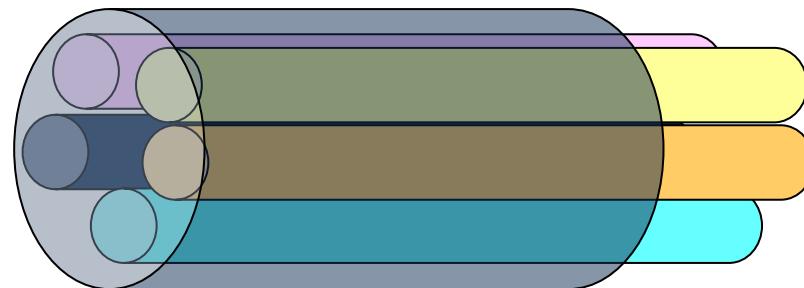
↑ riconoscimento flag d'inizio ↑ eliminazione di un bit dopo 5 uno consecutivi → riconoscimento flag di fine

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
 - ❑ Queste tecniche esistevano prima della rete internet

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 sotto-canali di velocità costante (e inferiore)

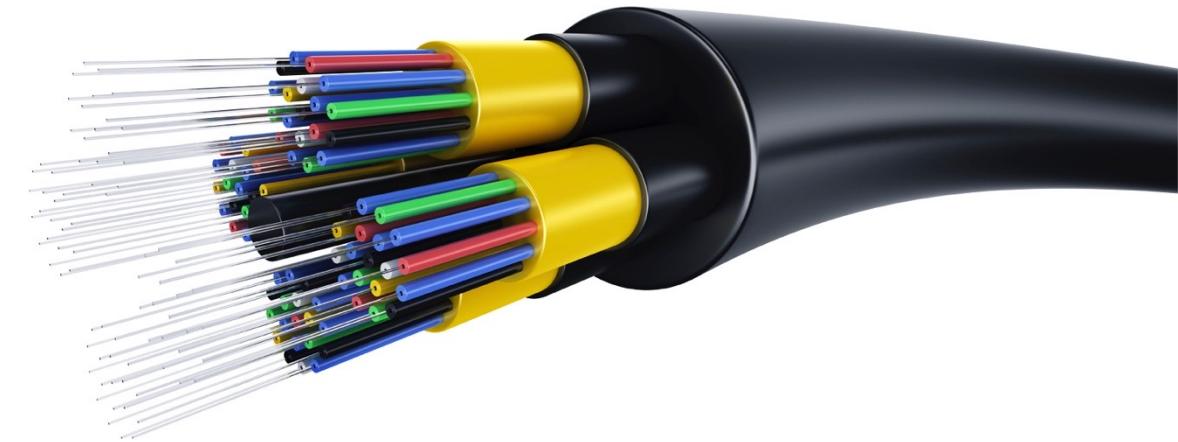


Multiplazione fisica

- ❑ Si distingue per la caratteristica fisica attraverso la quale i diversi segnali vengono separati
 - ❑ Divisione di spazio (**SDM** Space Division Multiplexing)
 - ❑ 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 SDM

- ❑ 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 trasmissivo è caratterizzato da una banda di frequenze utilizzabili



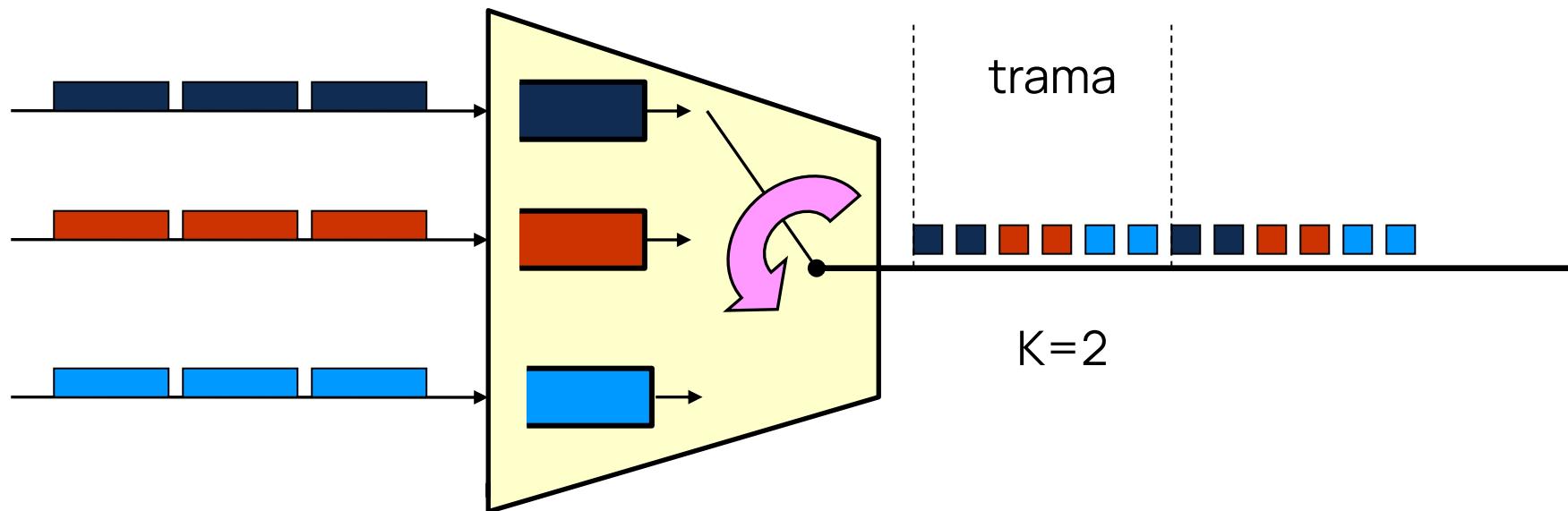
- la banda complessiva può essere divisa in sotto-bande cui associare un canale



- Esempi: Digital TV, ADSL, ...

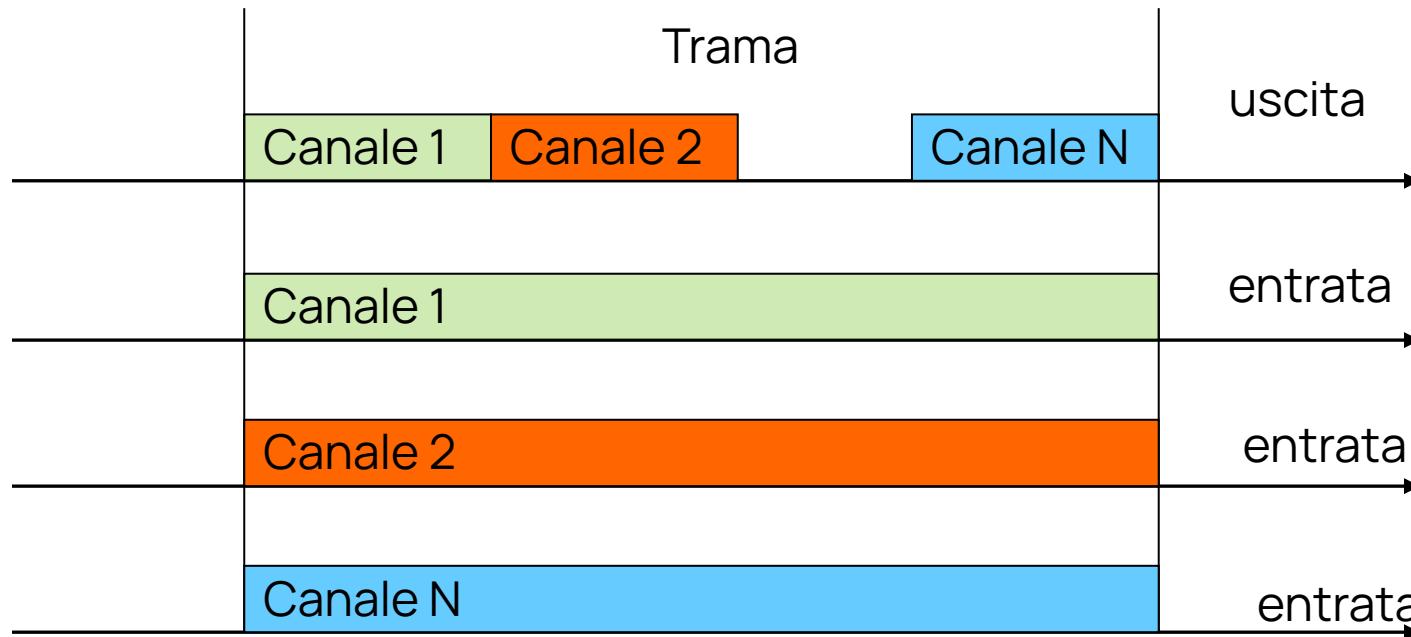
Multiplazione TDM

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



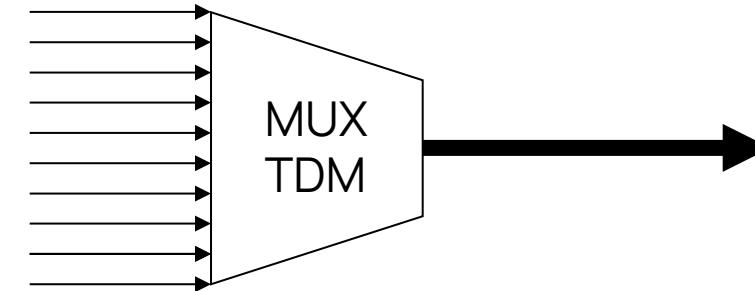
Multiplazione TDM

- 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: relazione fra velocità

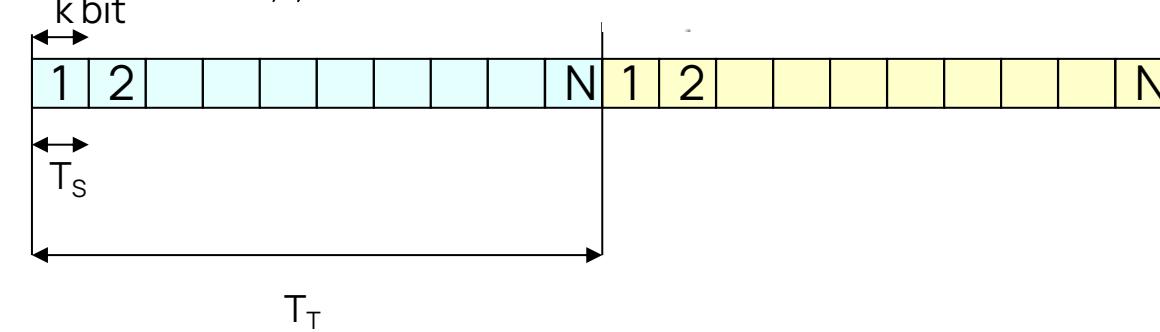
- V: velocità del flusso tributario (entrata)
- W: velocità del multiplex
- N: n. di tributari
- k: grado di interlacciamento (bit nello slot)
- TT: durata della trama
- TS: durata dello slot



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

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

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



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

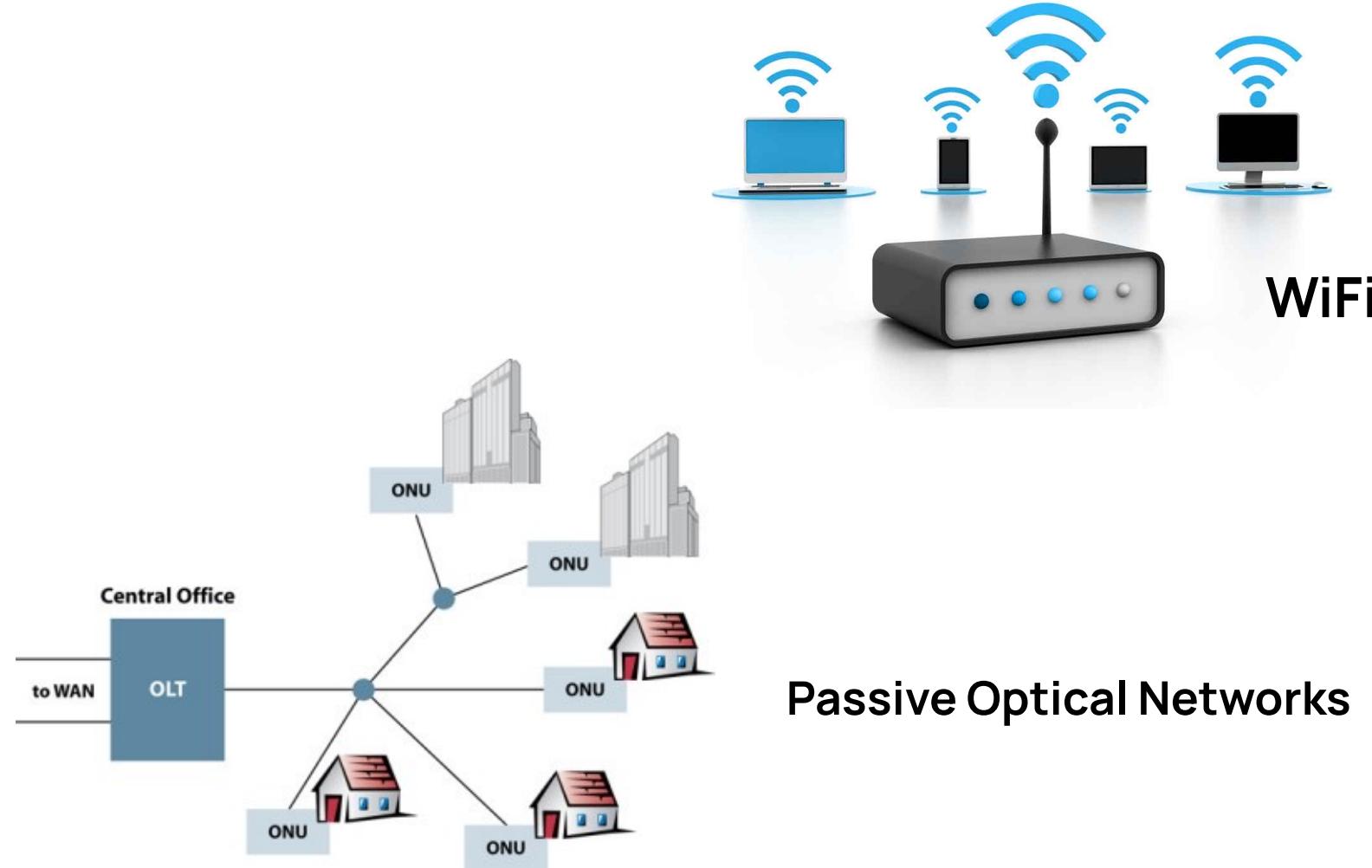
COLLEGAMENTI BROADCAST

03

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

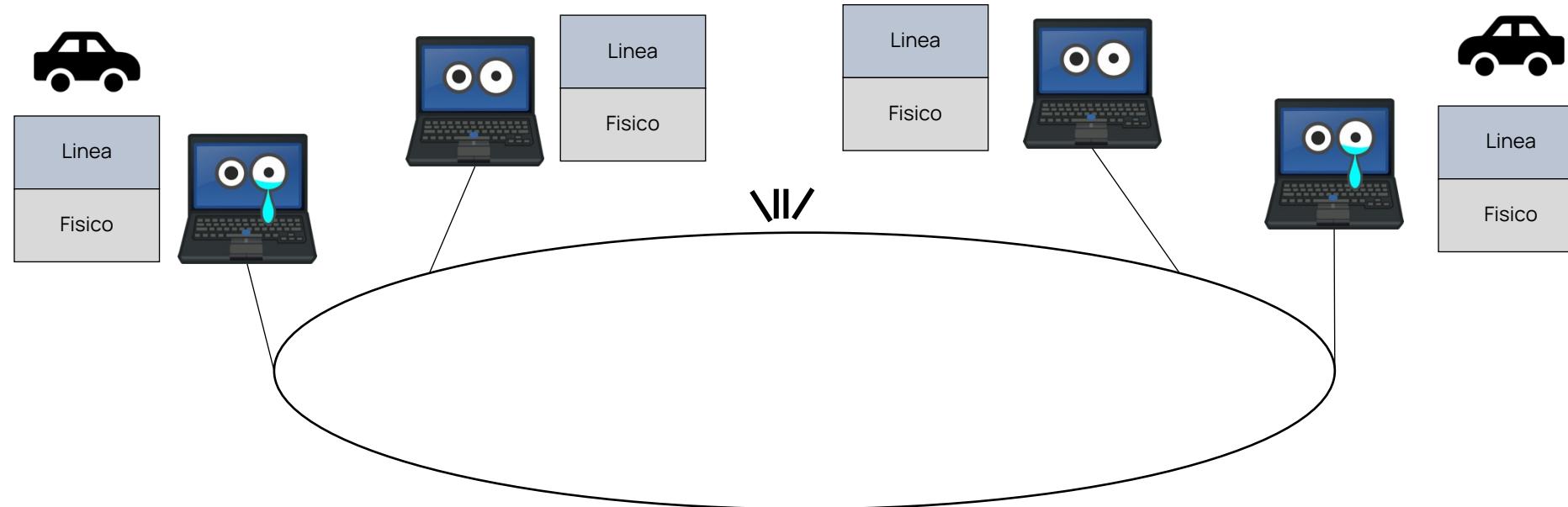
Le reti broadcast oggi



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



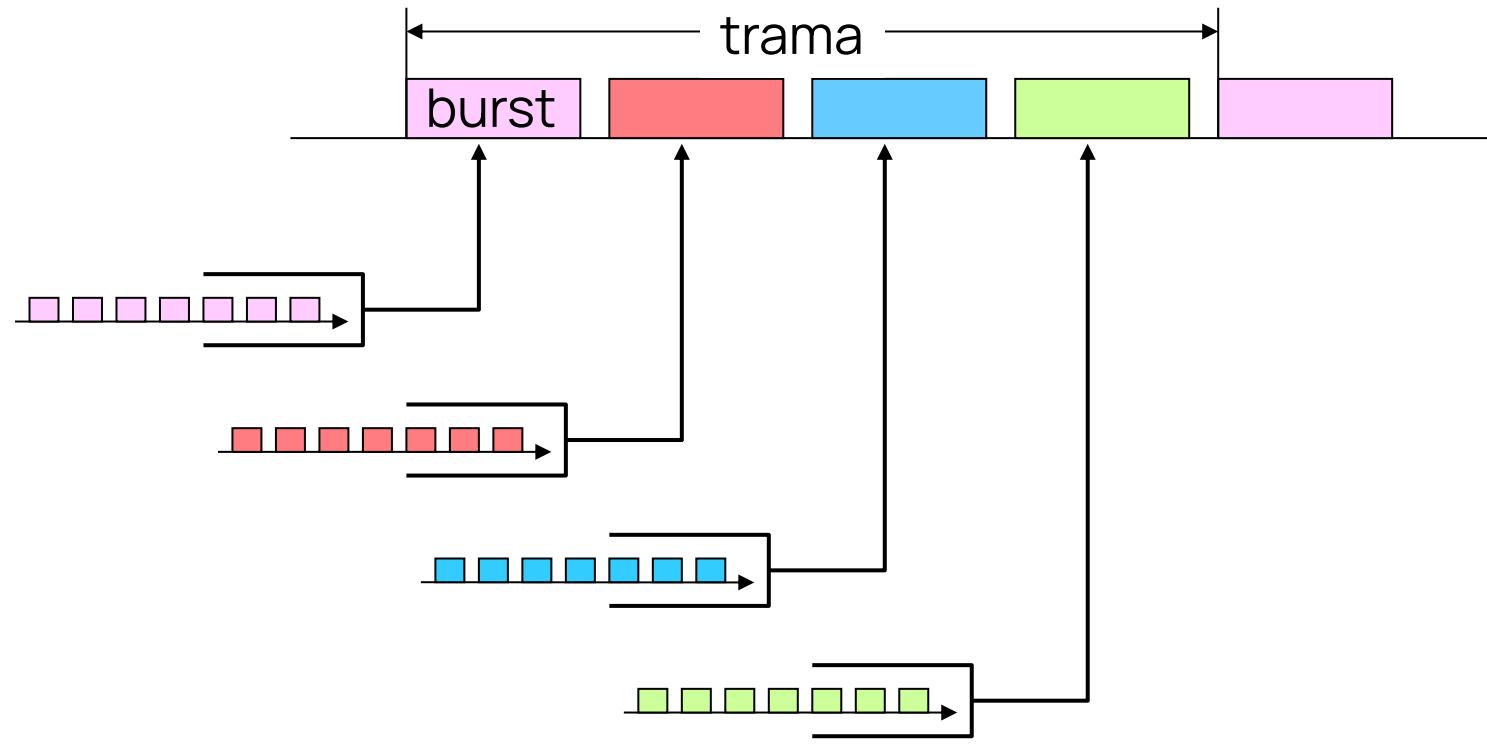
FDMA (Frequency Division Multiple Access)

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



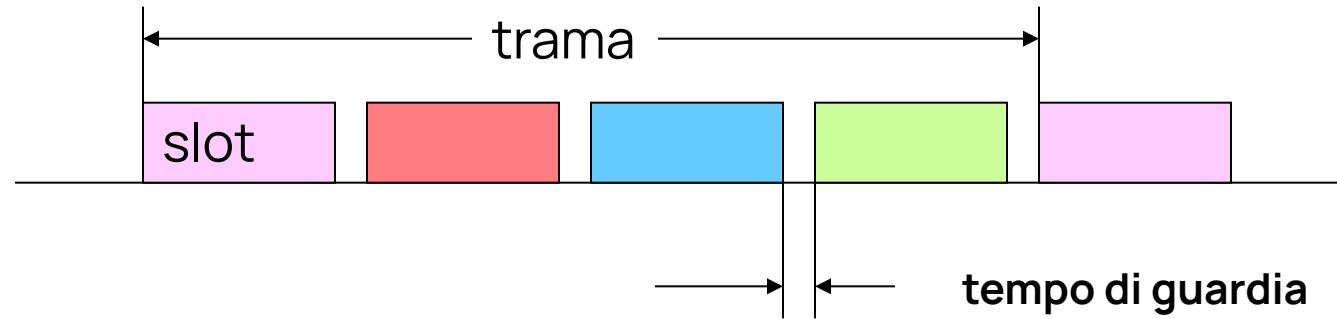
TDMA: Time Division Multiple Access

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



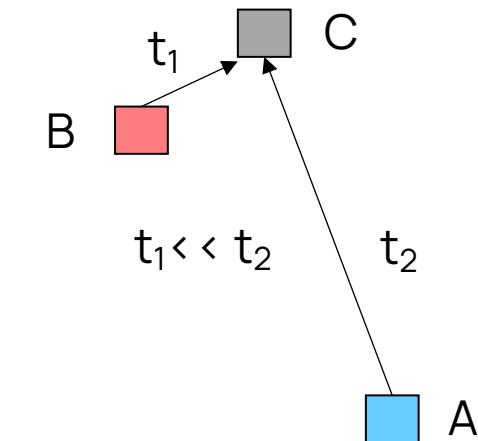
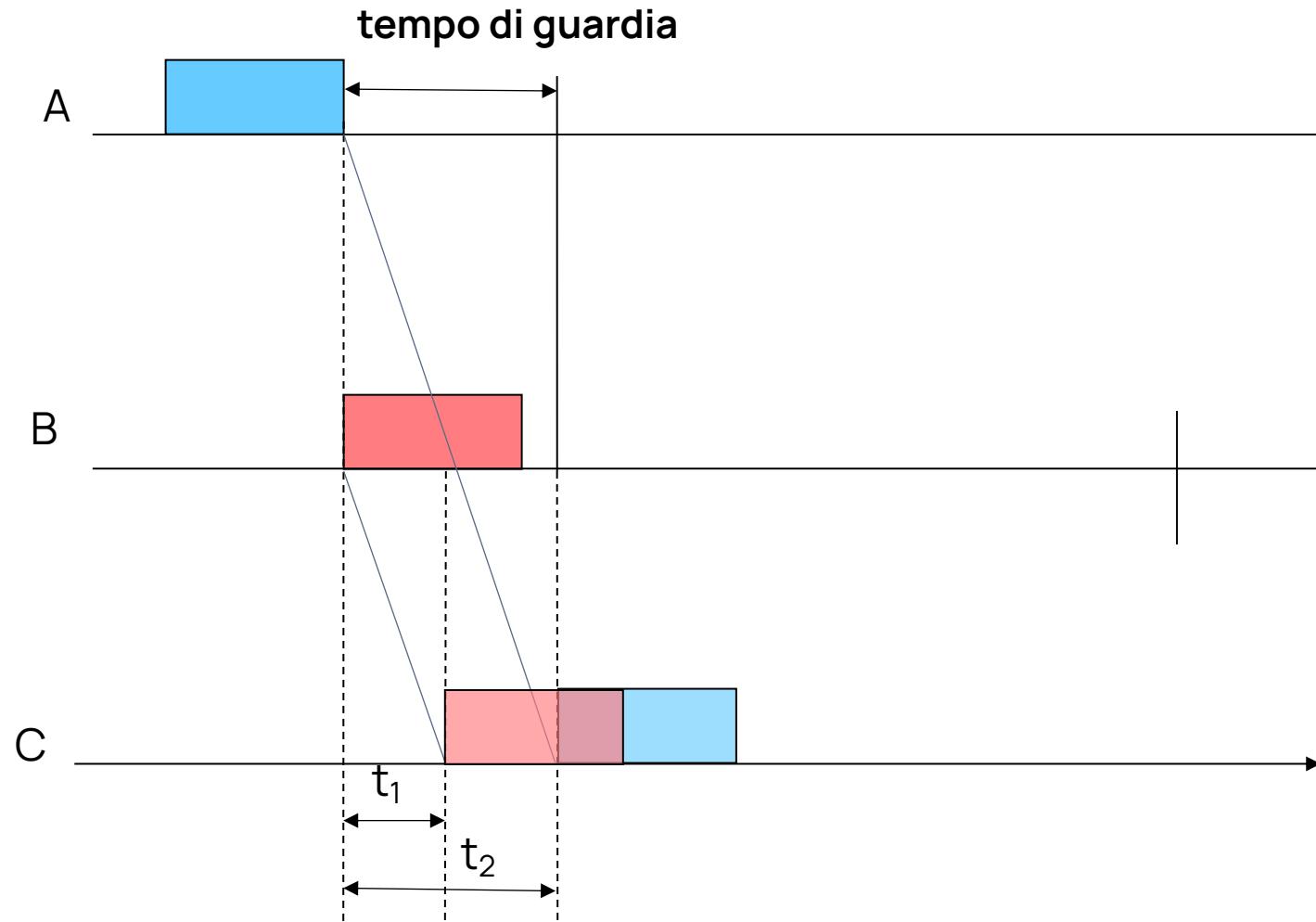
TDMA: Time Division Multiple Access

- ❑ 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: Time Division Multiple Access

- Perché i tempi di guardia?



Dal livello di rete al 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

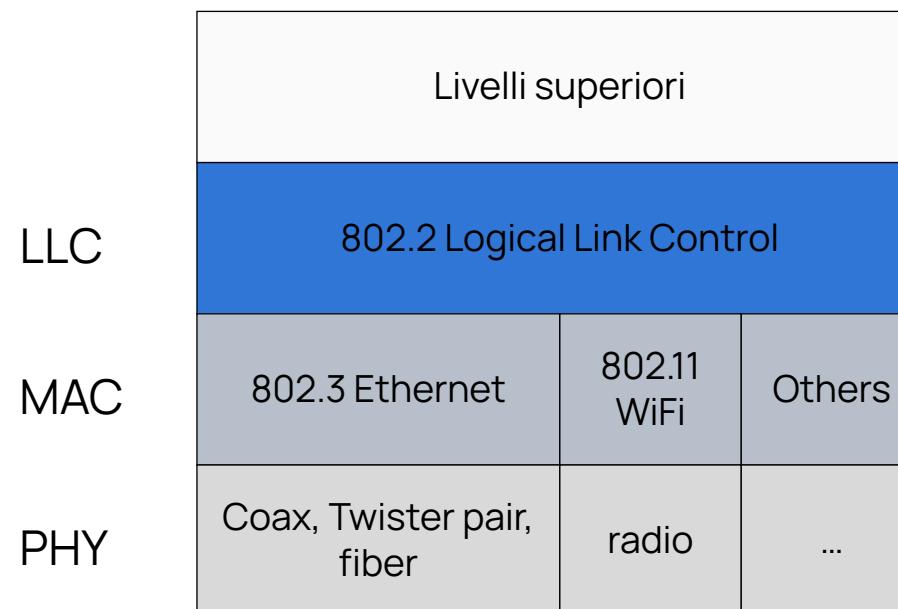


RETI LOCALI

04

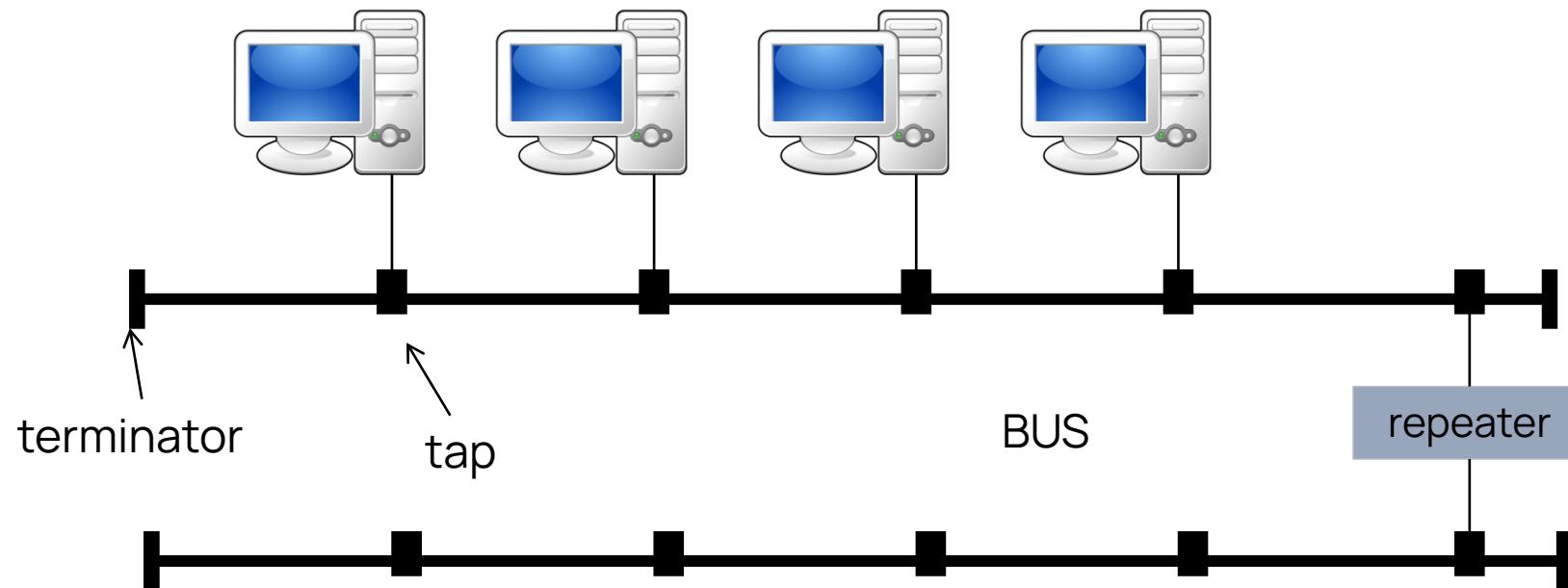
Tecnologie di reti locali (LAN)

- 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



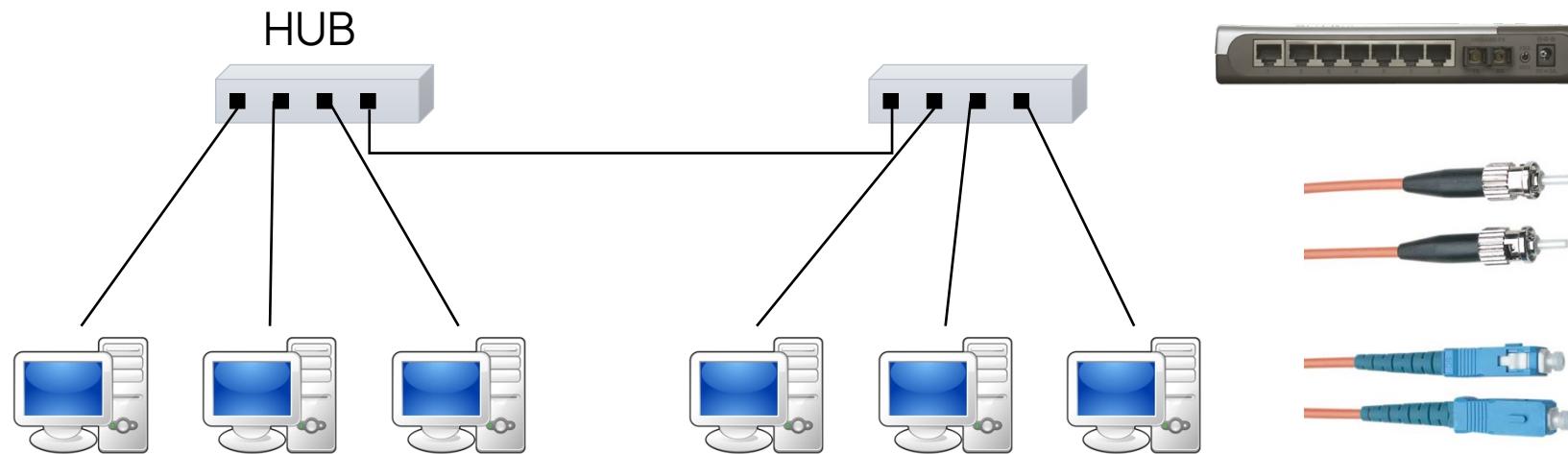
Ethernet - topologie a stella

- 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)



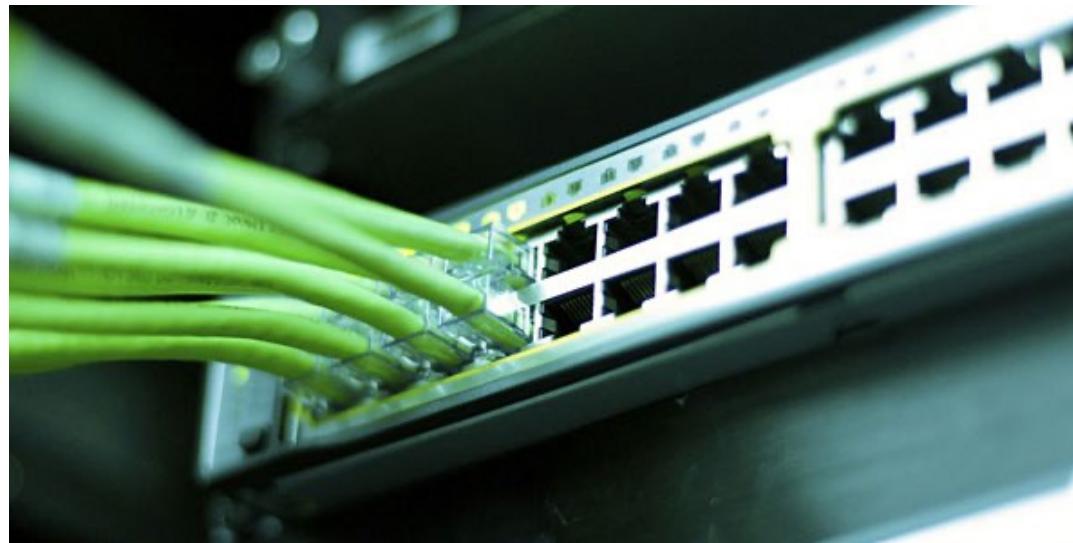
Fast Ethernet

- 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 trasmittivi sono utilizzati: ancora doppini di diversi tipi, fibre ottiche multimodali e monomodali

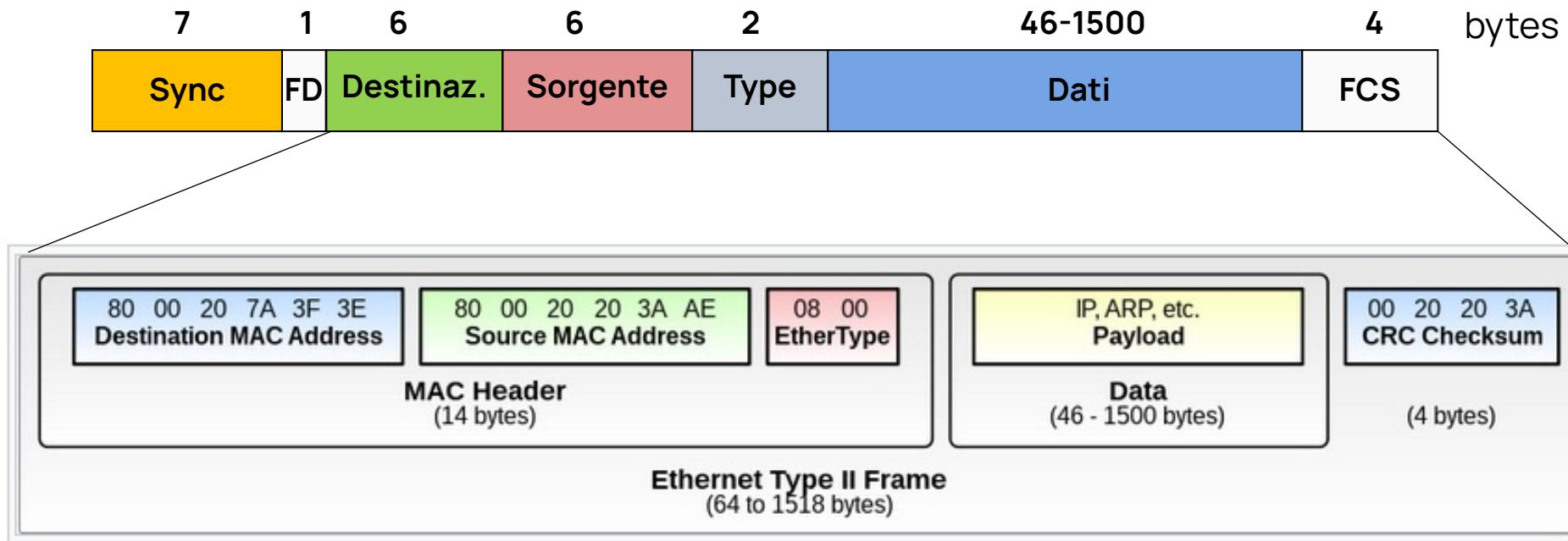


Trame Ethernet

- Sync: Preambolo di sincronizzazione di livello fisico (x7 byte: ognuno 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

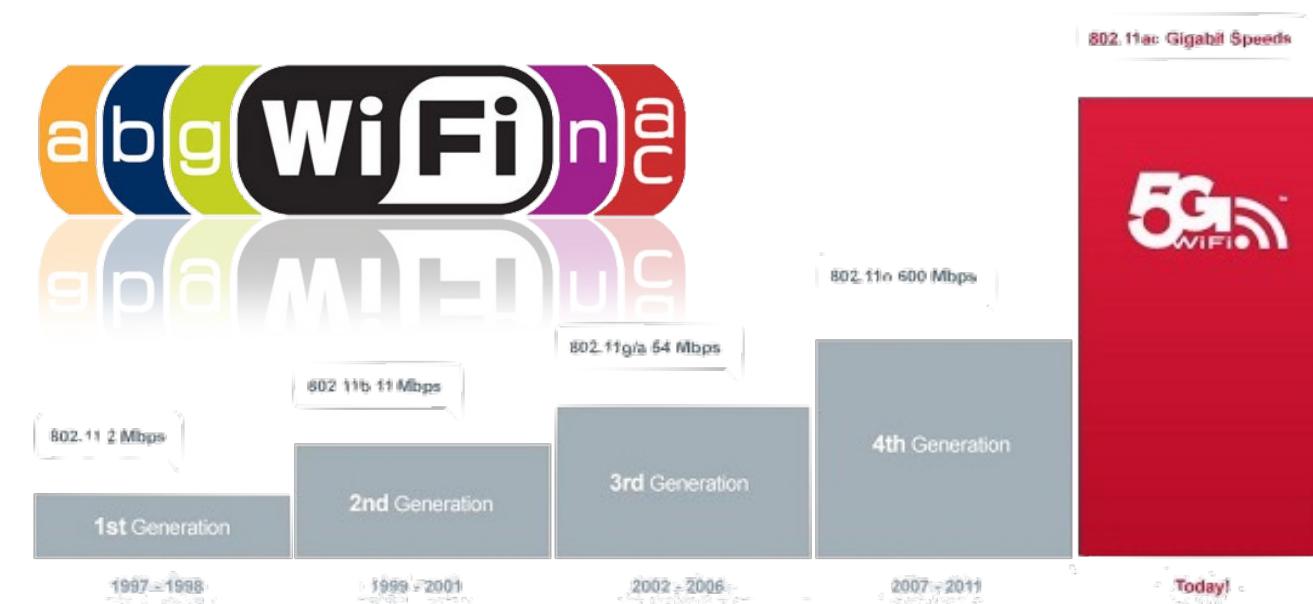
- Gli indirizzi di rete locale sono detti indirizzi MAC o indirizzi fisici
- Servono per la funzione di filtraggio
- Primi 3 byte identificano il costruttore
- Secondi 3 byte identificano la scheda
- 48 bit di solito indicati con notazione esadecimale (HEX)
- L'indirizzo con 48 bit a “1” è l'indirizzo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

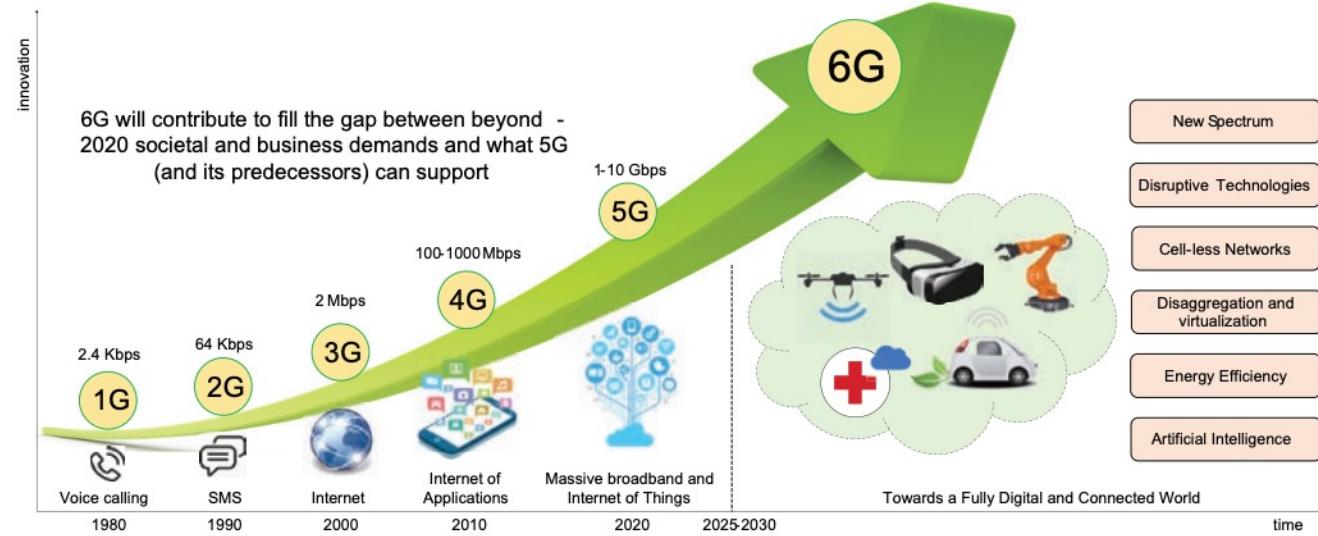
Wi-Fi

- ❑ La tecnologia Wi-Fi 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



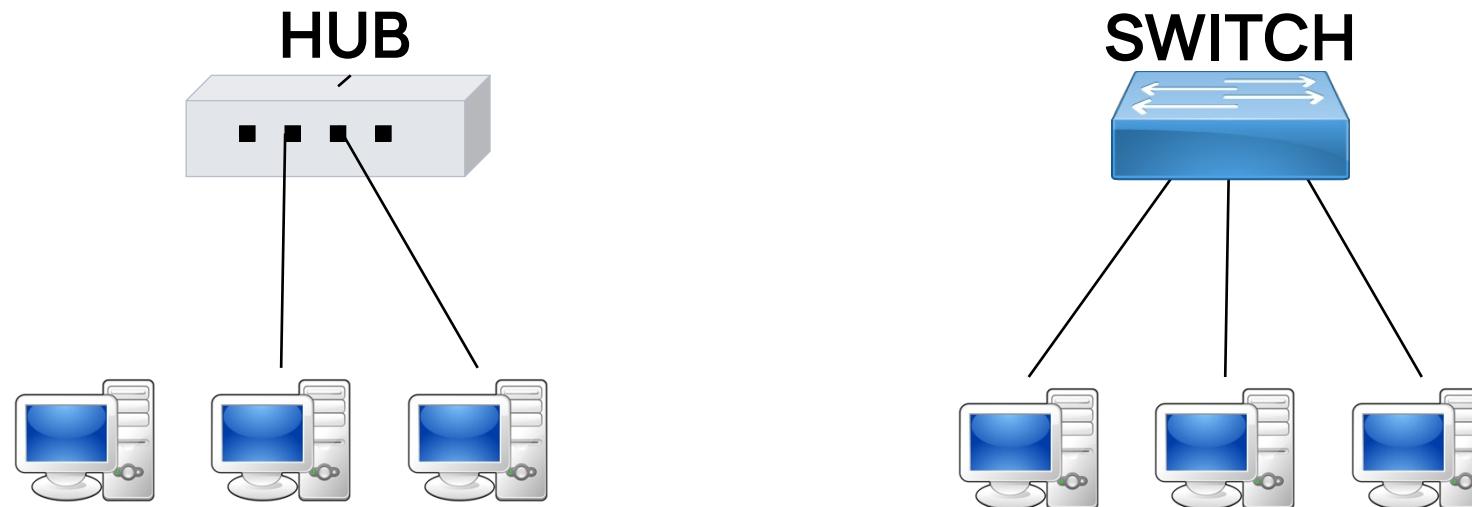
MAC nelle reti cellulari 5G

- ❑ Gestione dello scheduling dinamico
- ❑ Supporto a più bande
- ❑ Controllo degli errori e latenza ultra-bassa
- ❑ Uso: Comunicazioni 5G per IoT, AR/VR, reti satellitari, e connettività ultra-veloce.



LAN commutata (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 commutata o switched
- Conosciamo già la commutazione di pacchetto, per implementarla in Ethernet occorre sostituire l'HUB con un dispositivo detto SWITCH (o bridge)



Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI

Prof. Marco Mezzavilla
marco.mezzavilla@polimi.it