UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

dipartimento di ingegneria e architettura

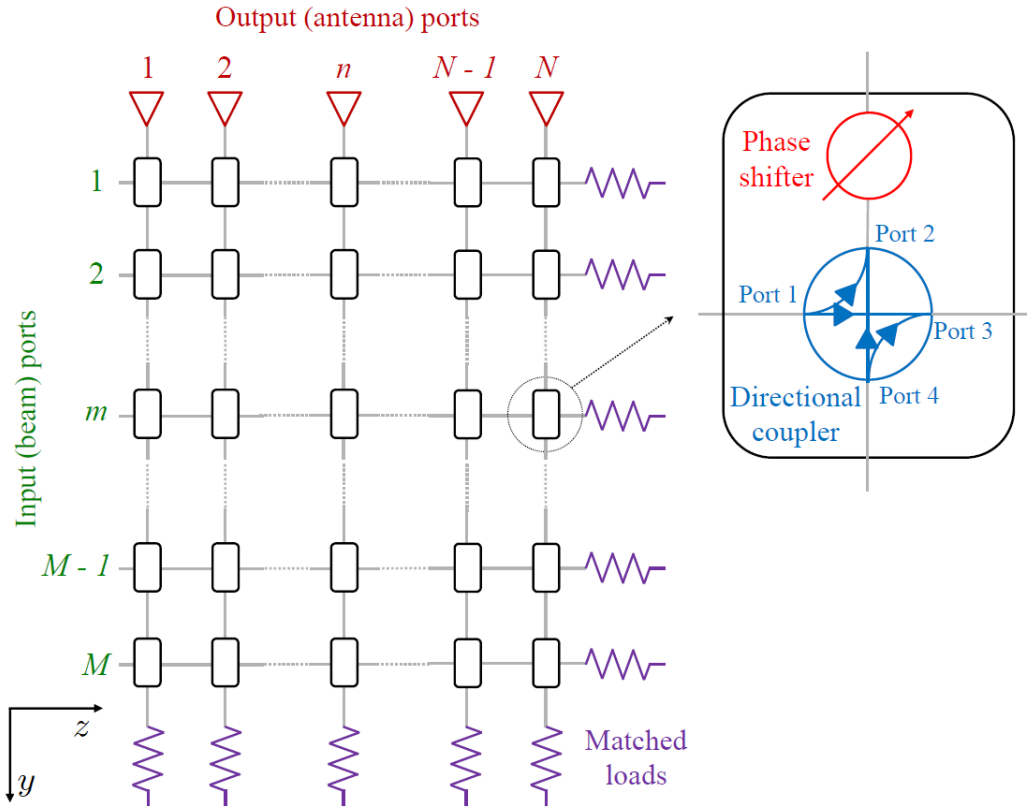
# L’ingegneria elettronica, informatica e biomedica nella rivoluzione digitale – parte II:

## Telecomunicazioni e IoT

**Prof. Giulia Buttazzoni**

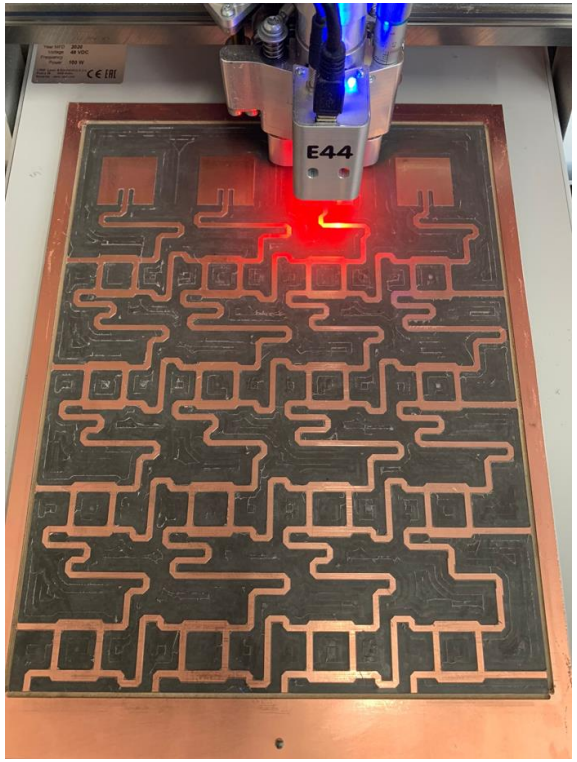
# PRESENTAZIONE

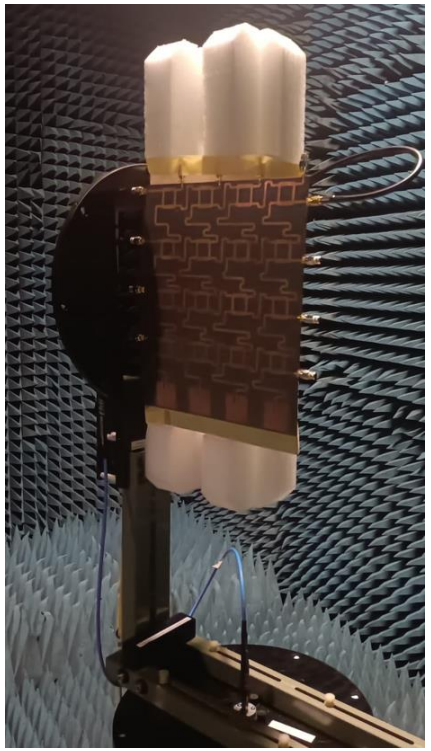
Sviluppo di metodi di sintesi per antenne a schiera intelligenti (riconfigurabili, multi fascio, multi banda, con soppressione delle interferenze, …)







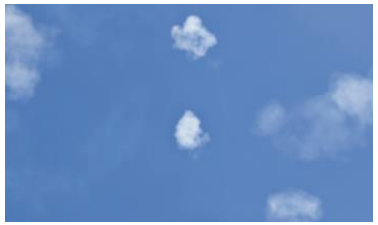


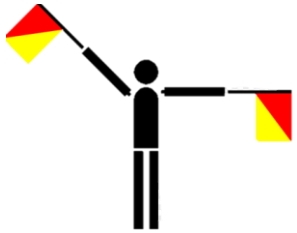



# TELECOMUNICAZIONE [Enciclopedia Treccani]

Nome generico di ogni procedimento che permette di far pervenire a uno o a più corrispondenti delle informazioni di varia natura (documenti scritti o stampati, immagini fisse o mobili, parole, musica, segnali visibili o udibili, ecc.) utilizzando un qualsiasi sistema di trasmissione.

…





Il servizio di telecomunicazione soddisfa un bisogno vitale della collettività, consentendo a tutti i cittadini di partecipare alla vita culturale, sociale, politica ed economica.

# TELECOMMUNICATIONS [ITU]

Any transmission, emission or reception of signs, signals, writings, images and sounds or intelligence of any nature by wire, radio, optical or other electromagnetic systems.

**The International Telecommunication Union (ITU) is the United Nations specialized agency for information and communication technologies – ICTs.**
Founded in 1865 to facilitate international connectivity in communications networks, we allocate global radio spectrum and satellite orbits, develop the technical standards that ensure networks and technologies seamlessly interconnect, and strive to improve access to ICTs to underserved communities worldwide. Every time you make a phonecall via the mobile, access the Internet or send an email, you are benefitting from the work of ITU.

ITU is **committed to connecting all the world's people** – wherever they live and whatever their means. Through our work, we protect and support everyone's right to communicate.

https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx

# TELECOMUNICAZIONI - STORIA

Le comunicazioni ottiche a distanza furono le uniche fino alla prima metà dell'800.

La realizzazione di impianti di telegrafia elettrica cominciò intorno al 1840, seguito a stretto giro dal telefono.

Rese possibili dalle scoperte nel campo della propagazione delle onde radio:

- 1860: Equazioni di Maxwell
- 1880: Esperimenti di Hertz

- 1895: Marconi trasmette a 1,5 km di distanza
- 1901: trasmette oltreoceano
- Commercializza il radio telegrafo ed è autore di numerosissimi brevetti
- 1909: conia il termine antenna

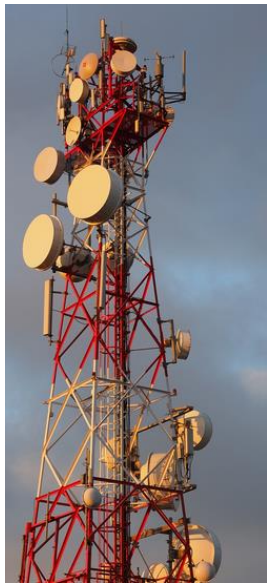
# TELECOMUNICAZIONI - STORIA

- Da Marconi agli anni 40 del secolo scorso la tecnologia delle antenne era soprattutto legata ad elementi a filo e frequenza fino alle UHF
- L'era moderna per le antenne nasce con la seconda guerra mondiale – RADAR

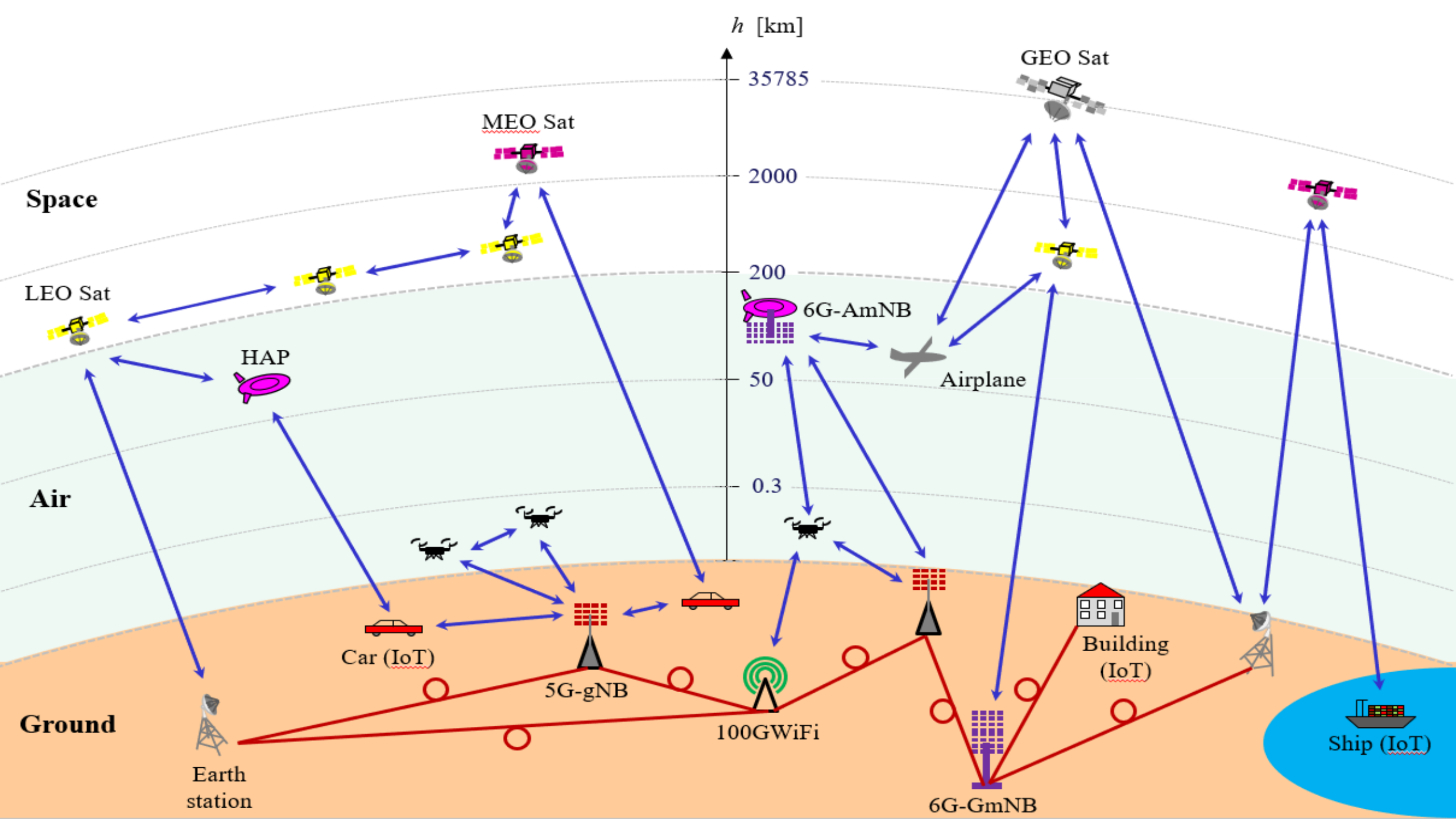
- Grandi sviluppi si hanno anche intorno agli anni '60 grazie all'avvento dei calcolatori e allo sviluppo di metodi numerici

- Evoluzione rapidissima

# TELECOMUNICAZIONI - STORIA



# TELECOMUNICAZIONI - STORIA

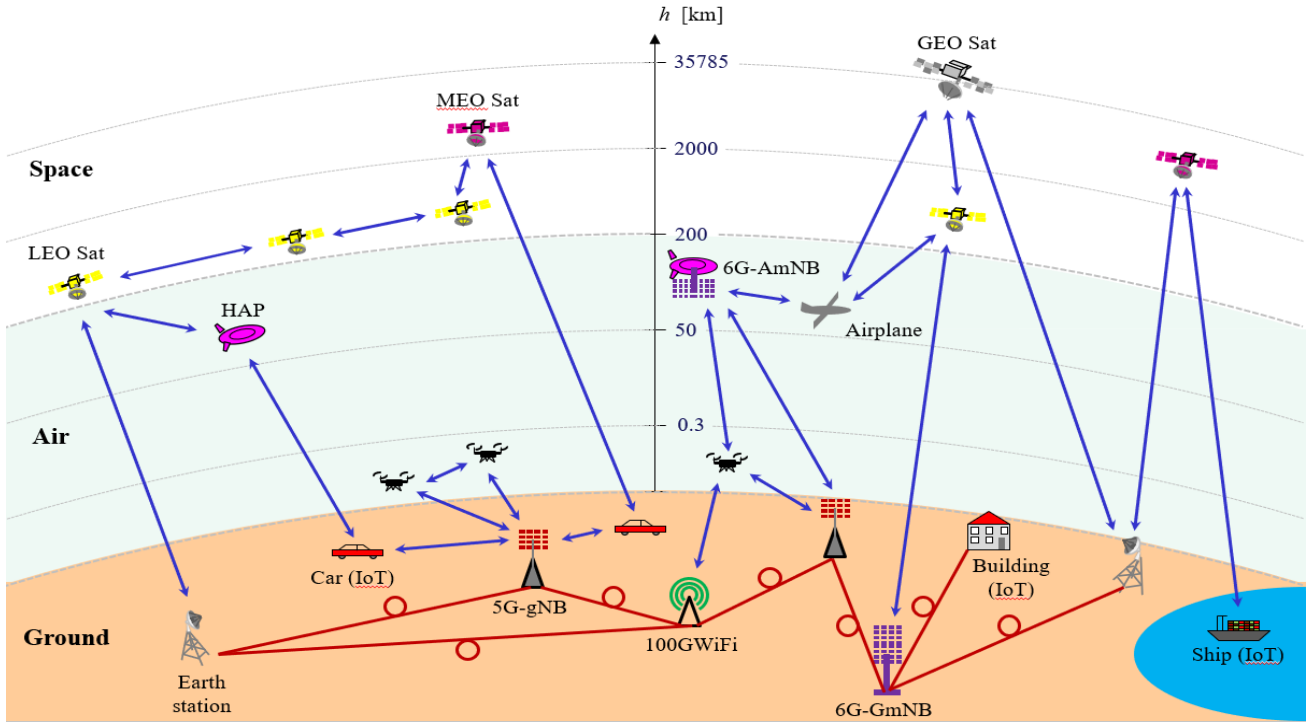

h [km]
35785
2000
200
50
0.3
Space
Air
Ground
GEO Sat
MEO Sat
LEO Sat
HAP
6G-AmNB
Airplane
Car (IoT)
5G-gNB
100GWiFi
Building
(IoT)
Ship (IoT)
Earth
station
6G-GmNB

# TELECOMUNICAZIONI - INDICE

Presentazione
Definizioni (Treccani e ITU)
Cenni storici
Reti di telecomunicazioni – Introduzione
Reti di telecomunicazioni – Classificazione
Reti di telecomunicazioni – Topologie
Reti di telecomunicazioni – (Rudimenti di) funzionamento: Commutazione & Multiplazione

# SISTEMI/RETI DI TELECOMUNICAZIONI

Una rete di telecomunicazioni è definibile come l'insieme di dispositivi, canali trasmissivi e procedure mediante le quali (due) dispositivi d'utente, remoti ed attaccati alla rete, possono scambiarsi informazione.

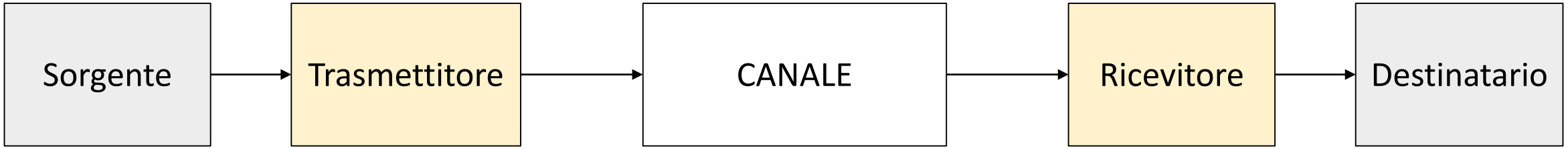


# RETI DI TELECOMUNICAZIONI

Il modo più semplice per consentire il colloquio tra due dispositivi d'utente (ad esempio due PC, due telefoni, ecc) è quello di collegarli mediante un canale trasmissivo diretto.

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI

Un sistema di telecomunicazioni si configura schematicamente come un sistema che consente il passaggio di **informazione** da una sorgente a un destinatario in modo che si abbia la minima degradazione possibile.



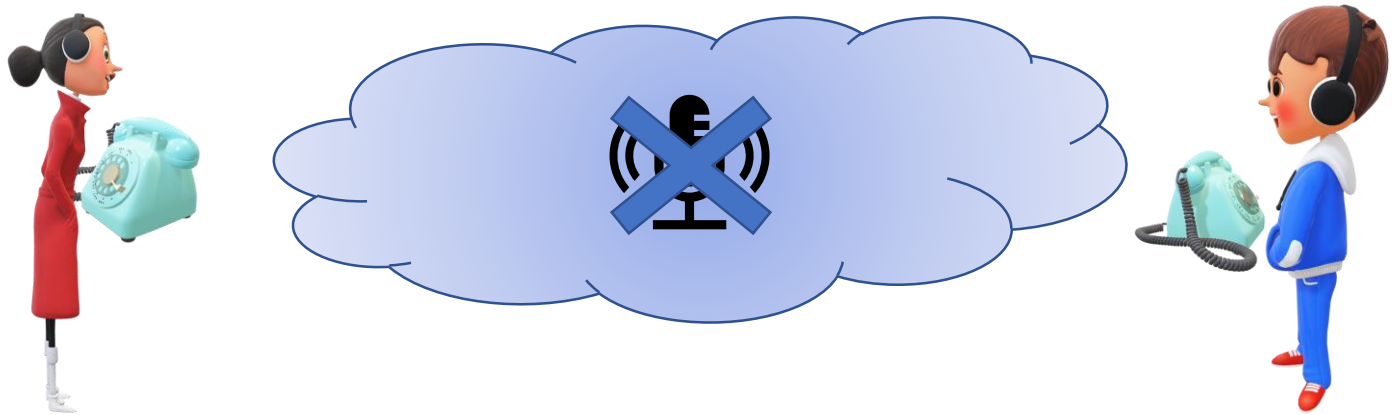

Schema a blocchi

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - TRASMETTITORE

L'**informazione** (segnale vocale, testo di un messaggio di posta elettronica, immagine fissa o in movimento, ecc.) generata dalla **sorgente**, in generale, non può essere trasmessa sul mezzo trasmissivo (canale) nella forma nella quale viene generata.

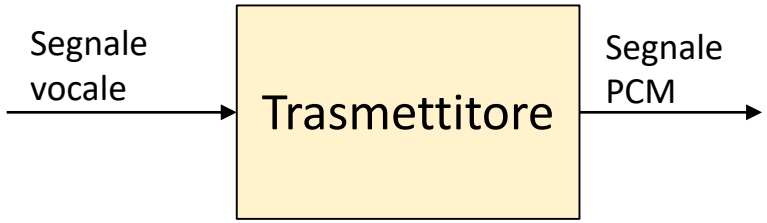
Il **trasmettitore** ha il compito di **convertire** l'informazione generata dalla sorgente in segnali elettrici che possano essere inviati attraverso il **canale** trasmissivo.

Il **ricevitore** riceve i segnali attraverso il canale e **ricostruisce** l'informazione che poi passa al **destinatario**.



Anche questo semplice modello di colloquio tra sorgente e destinatario nasconde molte difficoltà.

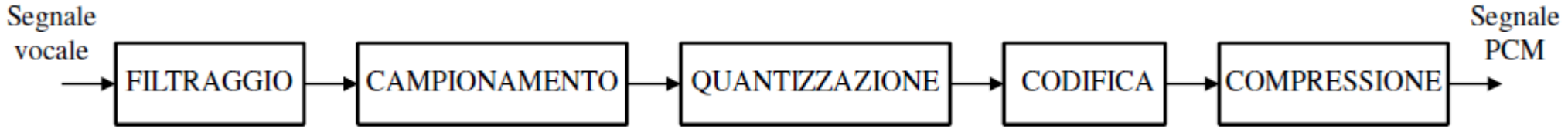
# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - TRASMETTITORE



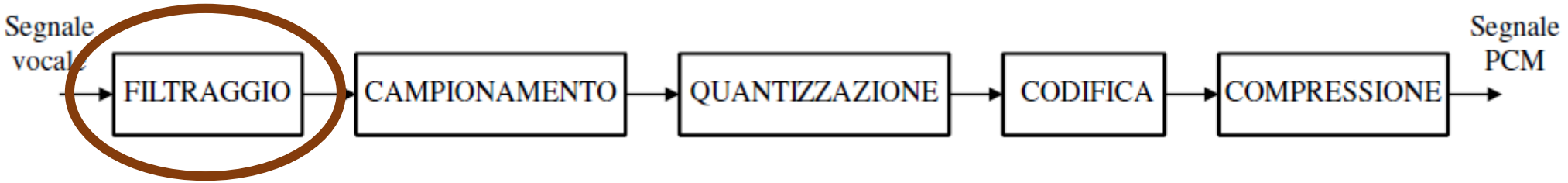

Una prima criticità è costituita dalla **generazione del segnale:** deve essere effettuata tenendo conto delle caratteristiche del mezzo trasmissivo e in modo tale che il ricevitore sia poi in grado di interpretarlo correttamente.

La gran parte dei moderni sistemi di trasmissione usa segnali numerici (o digitali); ciò significa che l'informazione viene dapprima trasformata in una sequenza di bit, che poi viene a sua volta trasformata in segnali opportuni.

Sia la prima che la seconda trasformazione possono essere effettuate in modi diversi, e quindi è necessario che il ricevitore conosca le trasformazioni adottate dal trasmettitore per effettuare le procedure di trasformazione inversa e quindi ricostruire il segnale.

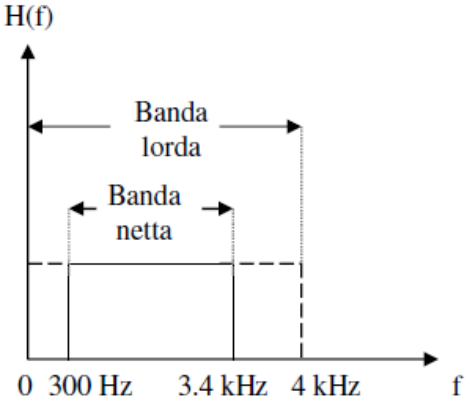


# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - TRASMETTITORE

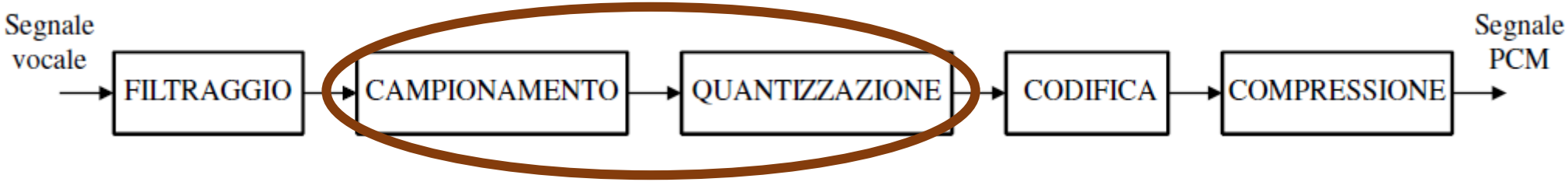



L'operazione di filtraggio è necessaria per adattare il segnale vocale al mezzo trasmissivo (canale).

Il segnale vocale viene filtrato in modo da rientrare nell'intervallo [300, 3400] Hz (banda netta). Per tener conto della non-idealità dei filtri si considera, per il successivo campionamento, un intervallo [0, 4000] Hz (banda lorda), e quindi una banda B = 4 kHz (in realtà il segnale vocale occupa una banda fino a 20 kHz, ma la distorsione che deriva dal filtraggio non è apprezzabile dall'orecchio umano).

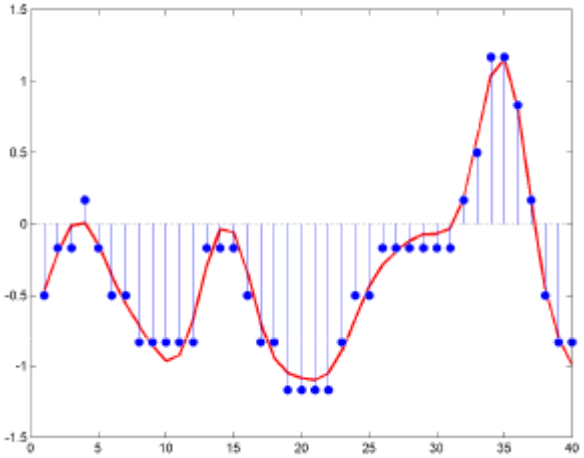


# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - TRASMETTITORE

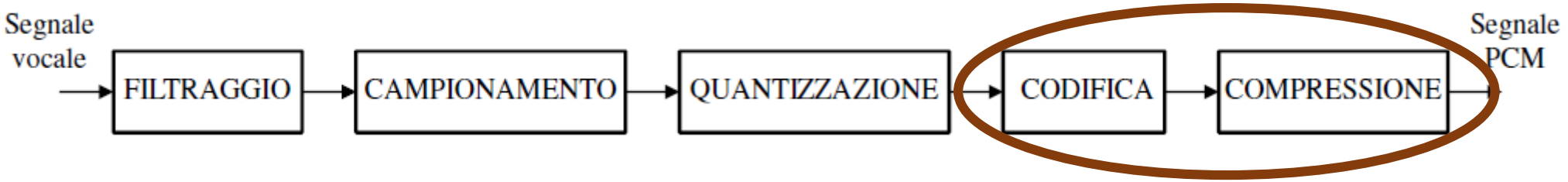



Il segnale *tempo continuo* viene trasformato in segnale *tempo discreto*.
Il segnale viene CAMPIONATO in accordo col teorema del campionamento ad una frequenza $f_c$=2B=8 kHz.

I campioni vengono QUANTIZZATI, cioè riferiti ad un insieme finito di valori, in modo da renderli esprimibili con un numero finito di bit.

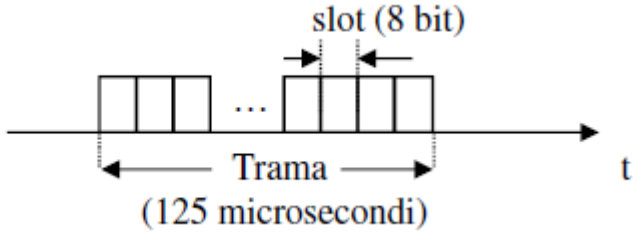


# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - TRASMETTITORE




Ogni campione quantizzato viene CODIFICATO in una sequenza di 12 bit e COMPRESSO in modo da ottenere una sequenza di 8 bit. Si ottiene così una bit rate $R = 8f_c = 64$ kbit/s.

Ogni $T_c = 1/f_c = 125$ µs viene prelevato un campione di 8 bit della voce (codifica PCM) che viene inserito in uno slot della trama TDM.

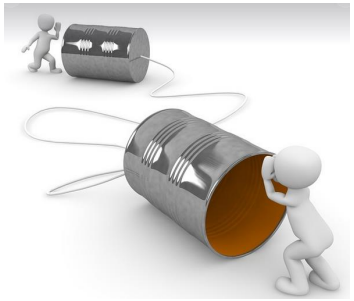


# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - CANALE

Il canale (o mezzo trasmissivo) è il collegamento fisico che unisce due nodi di rete (sorgente e destinatario).
Il suo compito è quello di trasmettere (trasportare) fisicamente il segnale.
Va tenuto presente che:

- L'informazione viene trasmessa a distanza variando opportune caratteristiche fisiche del mezzo trasmissivo
- Tali variazioni si propagano con una determinata velocità lungo il mezzo trasmissivo
- Dopo un certo tempo, l'informazione/la variazione arriva al destinatario dove deve essere rilevata

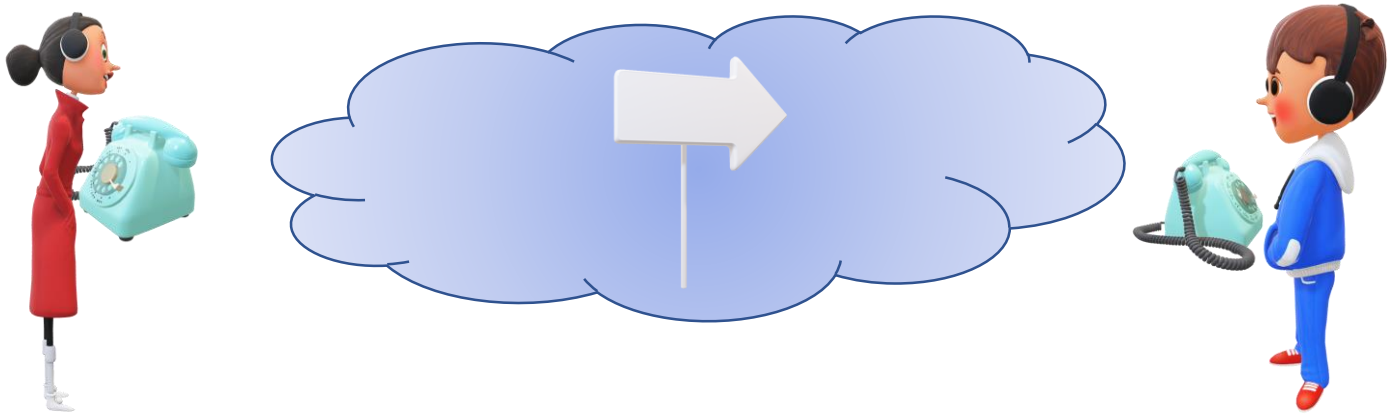
Un mezzo trasmissivo può essere costituito da uno o più canali.
Quando è costituito da più canali, può essere usato per inviare flussi informativi distinti (multiplazione).



# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - CANALE

I vincoli imposti dalle caratteristiche del mezzo trasmissivo riguardano, tra l'altro, la velocità con la quale può essere trasmessa l'informazione.

Nel caso di sistemi di trasmissione digitale si parla di **capacità del canale** di comunicazione espressa in bit al secondo (bit/s) che possono essere trasmessi.



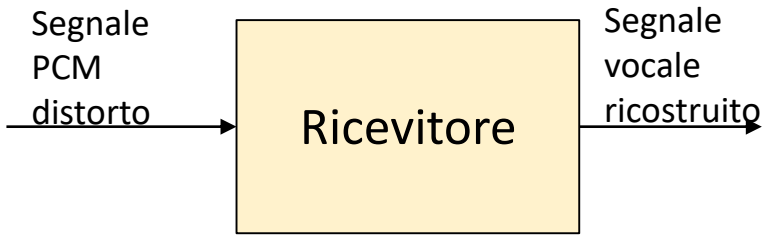
Ad esempio, per il segnale PCM la bit rate è $R = 8f_c = 64$ kbit/s.

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - RICEVITORE

Le procedure di ricostruzione effettuate dal ricevitore possono essere affette da errori a causa di possibili effetti di distorsione e di interferenza aggiunti dal mezzo trasmissivo e dai dispositivi elettronici coinvolti.

Per ovviare a questo problema è possibile, ad esempio, aggiungere ai bit di informazione dei bit di ridondanza che consentano al ricevitore o di correggere gli errori (codici a correzione d'errore) o almeno di accorgersi che ci sono e richiedere la ritrasmissione dell'informazione errata (codici a rivelazione d'errore).

Teoria dell'informazione
Modulazioni & Codici



# RETI DI TELECOMUNICAZIONI

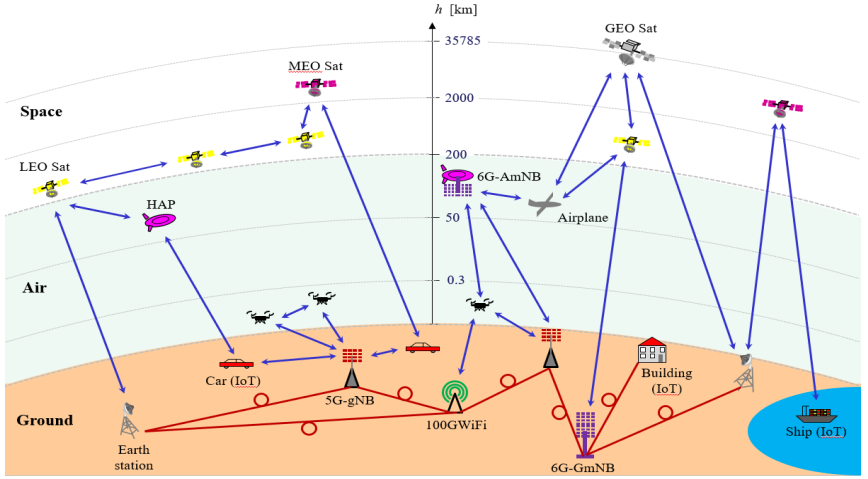
Come è possibile intuire da quanto appena accennato, due sistemi che comunicano non devono solo scambiare l'informazione generata dalle sorgenti, ma anche dell'informazione di servizio che consenta alle due parti di conoscere, ad esempio, le procedere da usare per la trasmissione e la ricezione o quando effettuare una ritrasmissione.

L'informazione di servizio, detta **segnalazione**, assume un'importanza sempre maggiore al crescere della complessità del sistema di telecomunicazione.

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI

Il modello semplice considerato si adatta al colloquio di due sistemi connessi tramite un canale diretto.

Se l'insieme di sistemi da collegare è ampio, risulta naturalmente non pratico usare un canale diretto per ogni possibile coppia. Dunque, il problema è quello di consentire il colloquio tra un insieme di sistemi mediante una **rete di telecomunicazioni**.



# RETI DI TELECOMUNICAZIONI

Una rete di telecomunicazioni è un insieme di nodi di elaborazione totalmente autonomi connessi mediante un opportuno sistema di comunicazione in grado di interagire mediante uno scambio di messaggi al fine di condividere le risorse messe a disposizione della rete.

[IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers]

Una rete di telecomunicazioni quindi consente la condivisione di informazioni e di risorse (hw/sw) fra utenti geograficamente anche molto lontani.

Vantaggi:

- Affidabilità (se si rompe una risorsa, ne ho altre a disposizione)
- Risparmio (legato alla condivisione delle risorse)
- Scalabilità (si possono aggiungere gradualmente nuove potenzialità)

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - CLASSIFICAZIONI

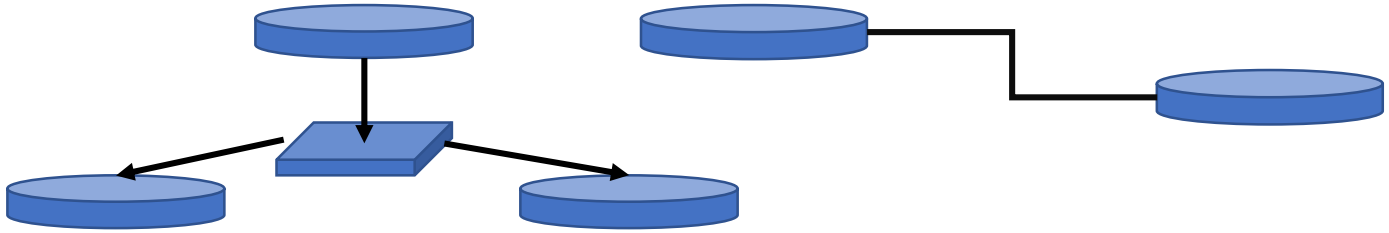
Rispetto allo schema precedente, solitamente una rete di telecomunicazioni è formata da molti «nodi di elaborazione».

Esistono diverse classificazioni di rete.
In base al canale trasmissivo:

- Cablata
- Wireless/radio

In base alla tecnologia di trasmissione:

- Broadcast (un solo canale di comunicazione è condiviso da tutte le macchine – indirizzamento/accesso…)
- Point-to-point (p2p – connessione individuale fra coppie di macchine)



In base all'estensione geografica:

- LAN (Local Area Network)
- MAN (Metropolitan Area Network)
- WAN (Wide Area Network)

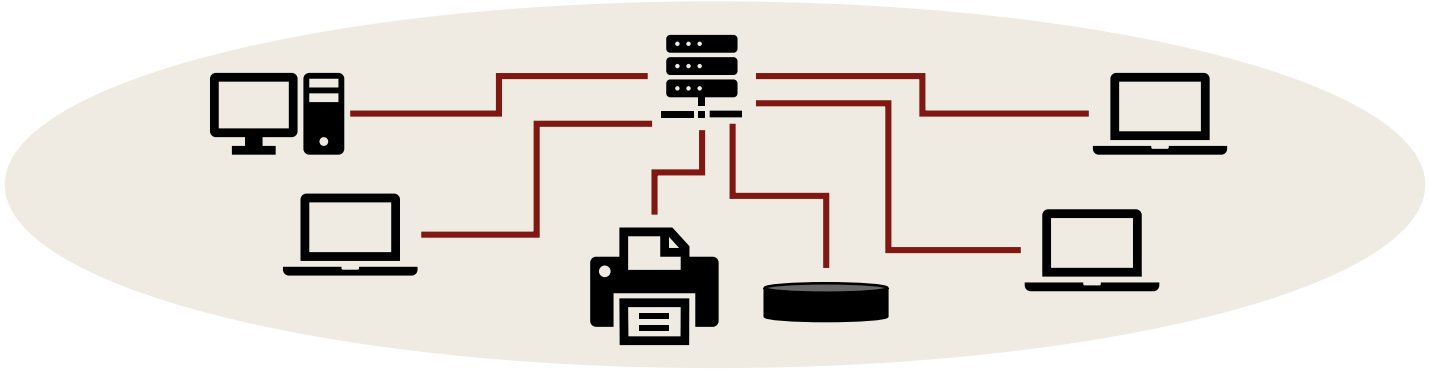
# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - CLASSIFICAZIONI

LAN (Local Area Network)
È una rete:

- Di piccole dimensioni (fino a qualche chilometro)
- Solitamente all'interno di un singolo edificio o gruppo di edifici adiacenti
- Privata

Viene impiegata generalmente per

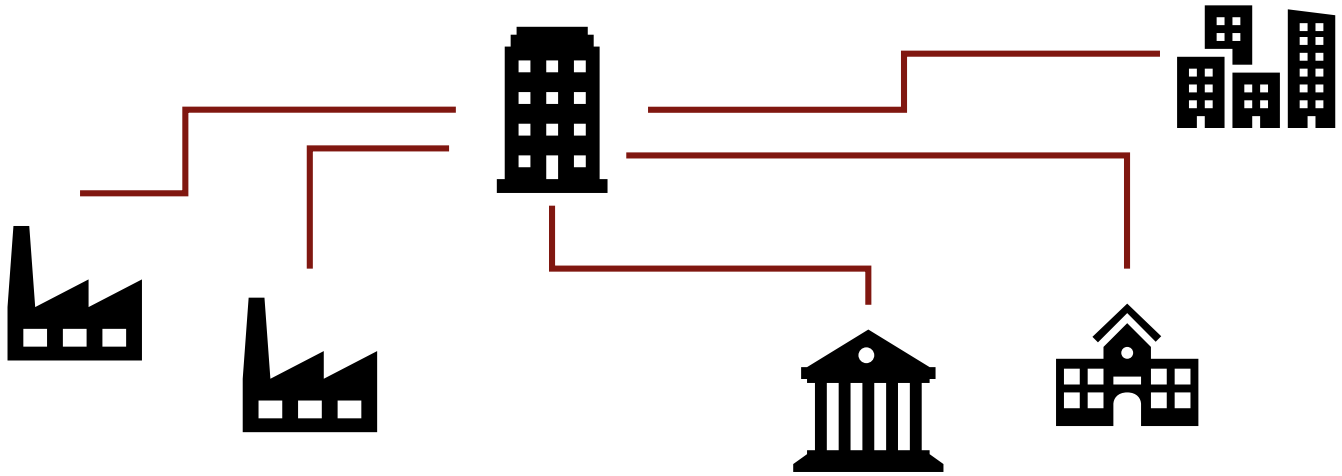
- Condividere risorse (stampanti, licenze, dischi) e informazioni interne (Intranet)



# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - CLASSIFICAZIONI

MAN (Metropolitan Area Network)

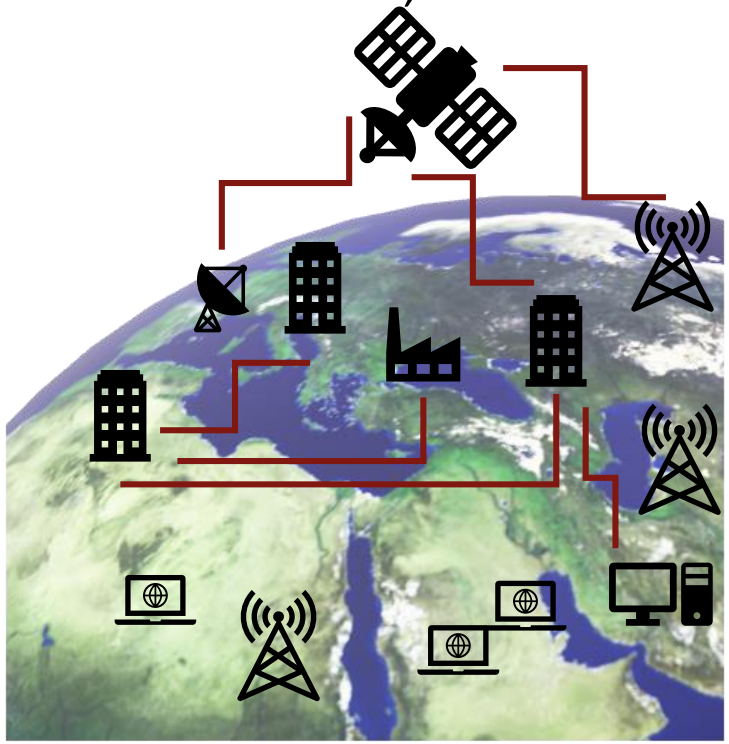
- Potremmo definirla come una LAN di dimensioni maggiori. Solitamente impiega la stessa tecnologia.
- Può essere privata  o pubblica.
- Si impiega per unire edifici diversi appartenenti ad una stessa società o cablare una città per servizi rivolti alla collettività.



# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - CLASSIFICAZIONI

WAN (Wide Area Network)

- Connette un’area geografica estesa (una o più nazioni).
- Può essere usata per interconnettere LAN o sedi internazionali di una stessa azienda.
- Generalmente è composta da «host» e «subnets», necessita di router e processi di gestione più complessi.



# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - CLASSIFICAZIONI

Esistono diverse classificazioni di rete.

In base alla tecnologia di trasmissione:

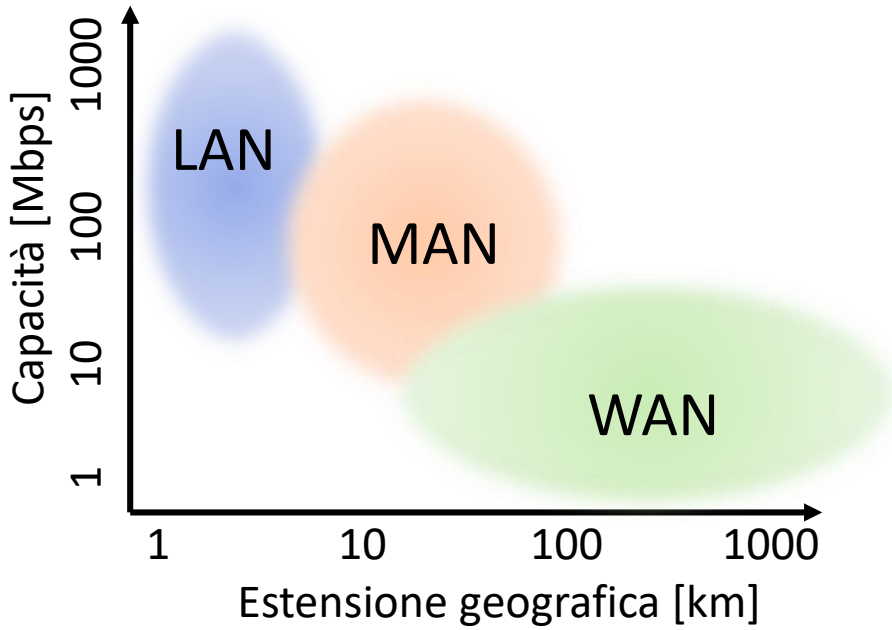
- Broadcast (un solo canale di comunicazione è condiviso da tutte le macchine – indirizzamento/accesso…)
- Point-to-point (p2p – connessione individuale fra coppie di macchine)

In base all'estensione geografica

- LAN (Local Area Network)
- MAN (Metropolitan Area Network)
- WAN (Wide Area Network)

Solitamente:

- Le LAN sono broadcast
- Le MAN sono broadcast
- Le WAN sono point-to-point

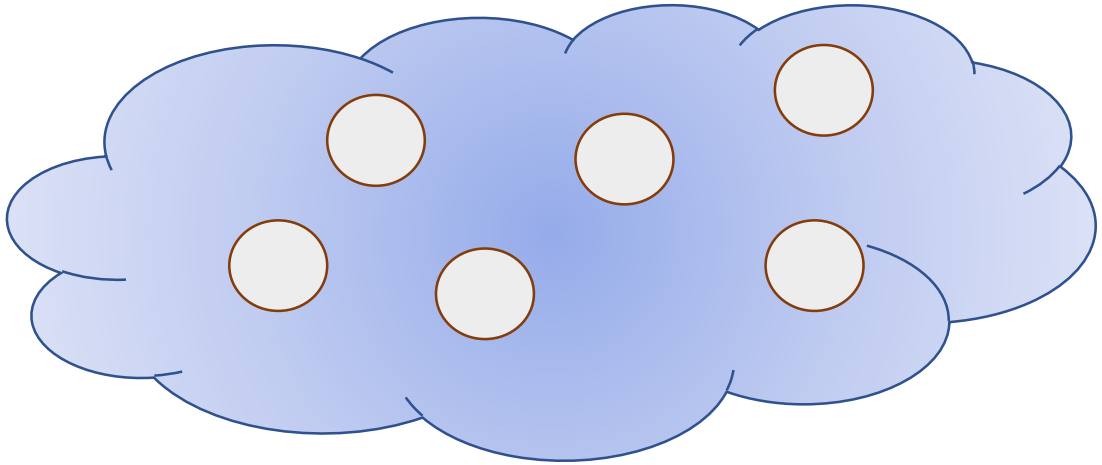


# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - TOPOLOGIE

Quando si ha a che fare con una rete non banale è fondamentale scegliere una topologia delle interconnessioni.

La topologia definisce la disposizione geometrica dei collegamenti fra i nodi che costituiscono la rete.

In una topologia di rete, il ramo/percorso che unisce due nodi rappresenta il collegamento fisico, il mezzo di trasmissione sul quale viaggiano i messaggi.



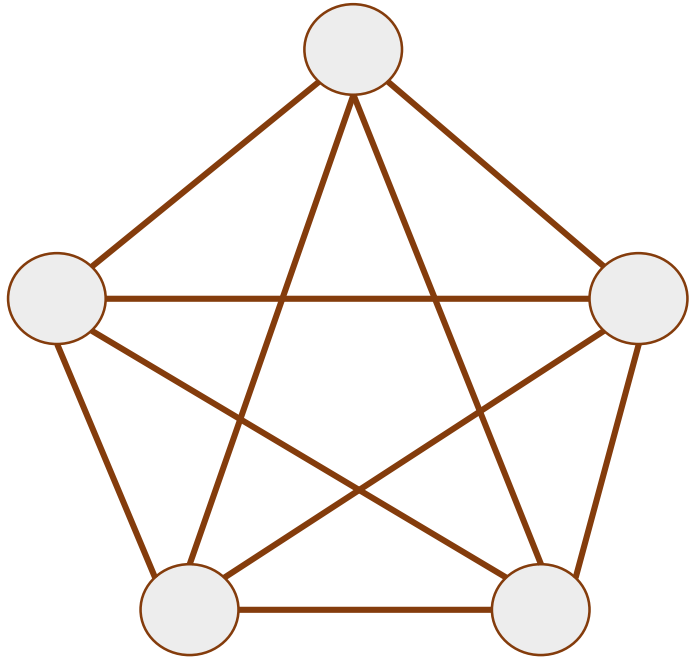
Esistono numerose topologie.

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - TOPOLOGIE

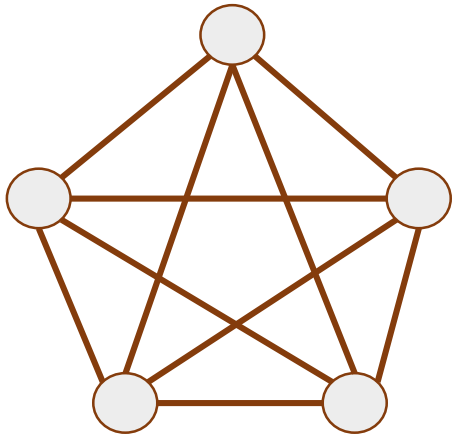
**Maglia completa** (o totalmente magliata)
Ogni coppia di nodi è connessa tramite un collegamento diretto.

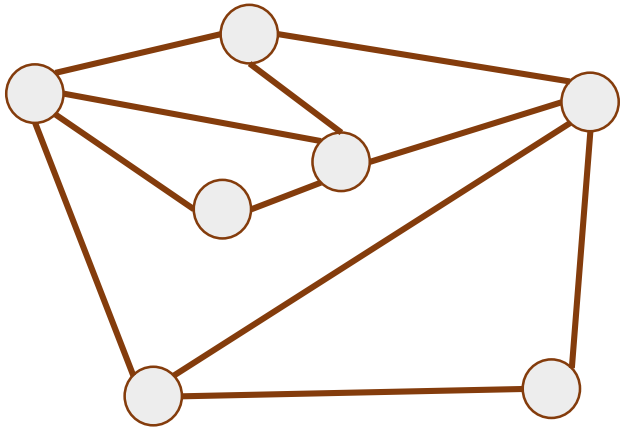
Con *N* utenti, il numero di collegamenti richiesto è *N(N-1)/2*.

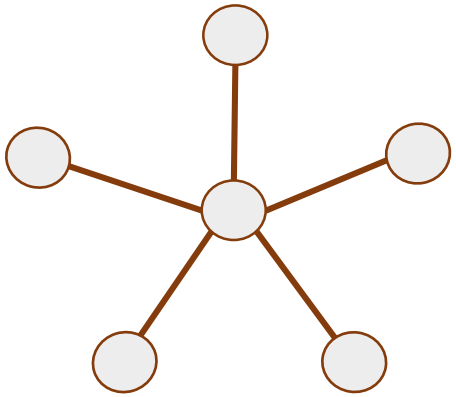
Ogni collegamento è usato in modo esclusivo da una coppia di nodi.
I collegamenti rappresentano le risorse della rete e il loro grado di utilizzo un fattore importante per la determinazione dell'efficienza della rete stessa.
Se ad esempio si assume che un nodo non usi più di un collegamento per volta si vede come sia usata solo una piccola frazione di risorse della rete.
Se poi si assume che un nodo possa non essere coinvolto in scambio di informazioni con altri nodi per intervalli di tempo anche lunghi, si intuisce come l'efficienza di una soluzione a maglia completa sia spesso molto bassa.

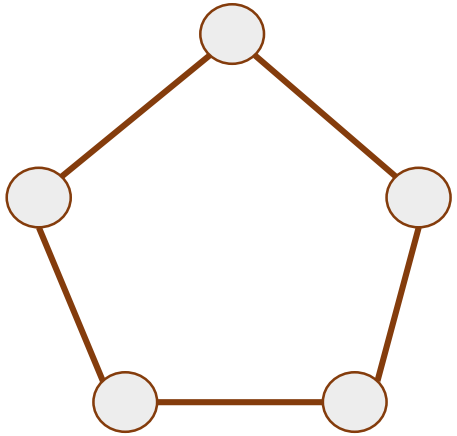


# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - TOPOLOGIE



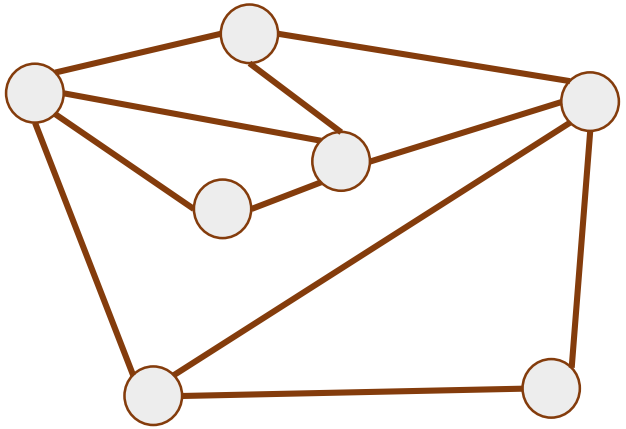






# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - TOPOLOGIE

**Maglia parzialmente connessa:**
Tipica delle reti WAN (Internet)



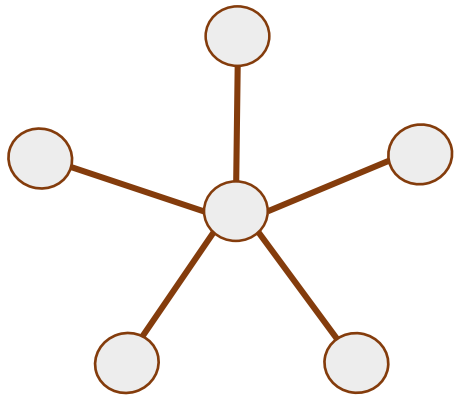
Vantaggio: tolleranza ai guasti e flessibilità nella scelta del percorso
Svantaggio: topologia non regolare

**Bus:**
Un solo canale condiviso da tutti i nodi – usata nelle LAN

Vantaggio: economicità e semplicità di connessione
Svantaggio: vulnerabilità ai guasti

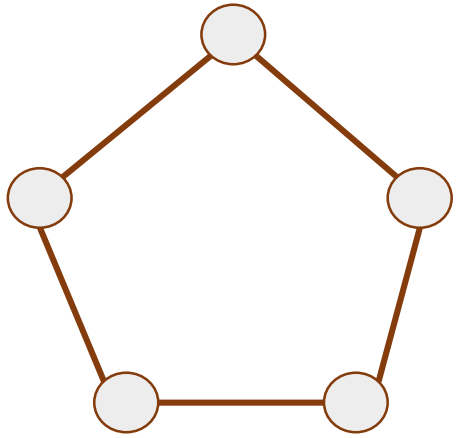
# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - TOPOLOGIE

**Stella:**
Il centro stella può essere:
Attivo (se commuta l'informazione proveniente dalla sorgente solo verso il destinatario) – usata nelle WAN
Passivo (se indirizza a tutti i nodi le informazioni proveniente dalla sorgente) – usata nelle LAN



Vantaggio: basso numero di collegamenti
Svantaggio: vulnerabilità ai guasti (del nodo centrale)

**Anello:**
Bidirezionale
Unidirezionale



Vantaggio: basso numero di collegamenti
Svantaggio: vulnerabilità ai guasti

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - FUNZIONAMENTO

Quindi, in generale, sorgente e destinatario non sono connessi direttamente, ma tramite un'opportuna rete di telecomunicazioni.

Sono molti i problemi da risolvere legati a questa banale osservazione.

Solo per citarne alcuni…

- Esiste il problema di «farli trovare».
- Bisogna decidere quale percorso far seguire al segnale (instradamento/routing)
- Come far avvenire il vero e proprio invio del flusso di informazione? (commutazione)

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - COMMUTAZIONE

**Def.** The process of interconnecting functional units, transmission channels or telecommunication circuits for as long as is required to convey signals.

[ITU-T Recommendation I.112]

All'interno di ogni nodo di rete, la commutazione è l'operazione di trasferimento di un flusso di informazione da un canale di ingresso ad uno di uscita.

In una rete, i sistemi che si scambiano l'informazione (sistemi finali o end-systems) e i nodi di rete (nodi di commutazione o switching node) svolgono funzioni differenti, ma devono collaborare e scambiare informazione di servizio affinché la rete svolga correttamente il suo compito.

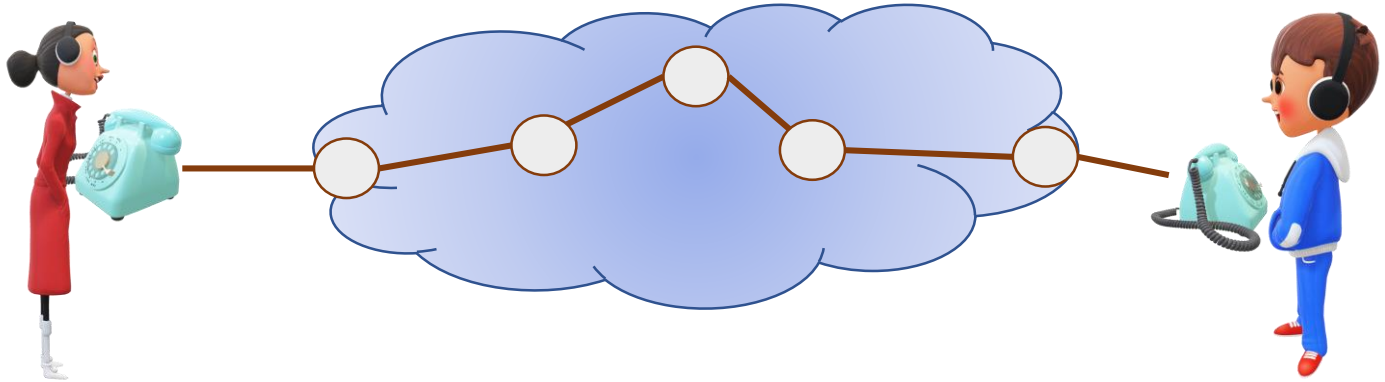
Commutazione di circuito – Commutazione di pacchetto

Nata con le reti telefoniche – Nata con le reti di calcolatori

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - COMMUTAZIONE

## Commutazione di circuito

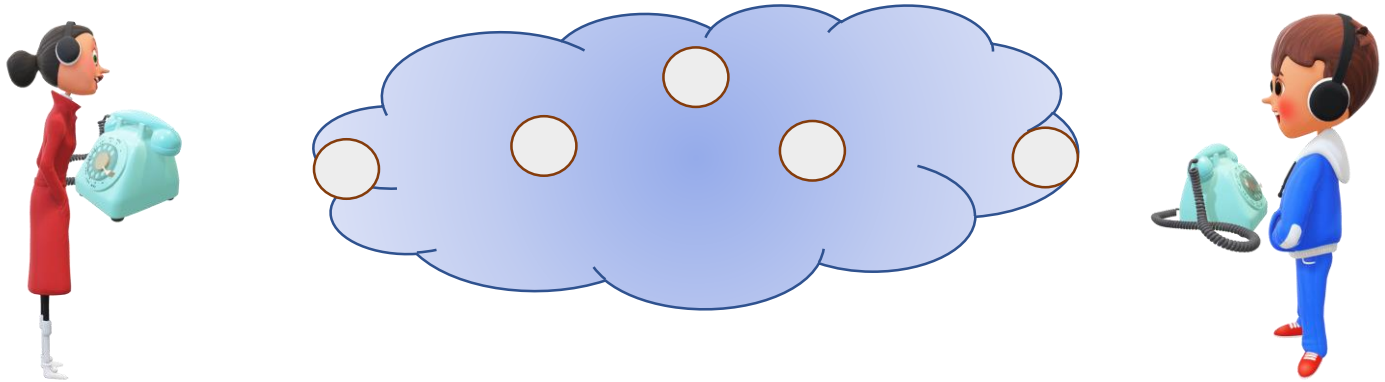
Per circuito si intende un collegamento fisico tra due terminali d'utente.
Con la commutazione di circuito la rete crea un circuito a ogni richiesta di servizio e il circuito (le risorse della rete) è ad uso esclusivo dei due utenti per tutta la durata della comunicazione.
Le risorse della rete vengono rilasciate solo al termine della comunicazione.



# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - COMMUTAZIONE

Commutazione di circuito - Funzionamento

1. Instaurazione del circuito: prima che i segnali della sorgente possano essere trasmessi, la rete deve instaurare il circuito di collegamento (circuito end-to-end). Messaggi di segnalazione.
2. Dialogo: i due terminali si scambiano le informazioni attraverso il circuito dedicato.
3. Disconnessione del circuito: al termine del dialogo il circuito deve essere rilasciato, al fine di poter essere utilizzato per altre chiamate. Messaggi di segnalazione.



Esiste quindi un ritardo iniziale dovuto al tempo necessario per instaurare il circuito.
Instaurato il circuito, la rete è trasparente agli utenti (è come se ci fosse un collegamento diretto)

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - COMMUTAZIONE

Vantaggio:

- Canale di comunicazione costante
- Collegamento dedicato garantisce sicurezza e affidabilità
- Procedure di controllo solo a inizio e fine della comunicazione

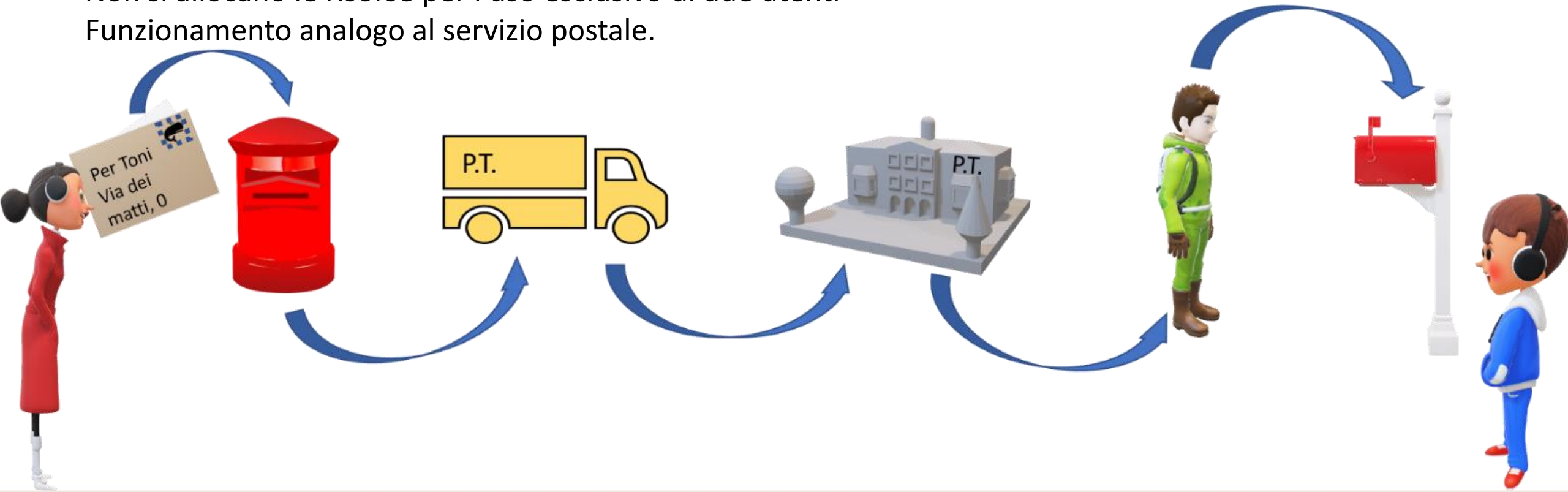
Svantaggi:

- Risorse dedicate a una singola comunicazione
- Tariffazione in base al tempo di esistenza del circuito
- **Efficienza buona solo in caso di sorgenti non intermittenti/bassa efficienza per sorgenti con basso tasso di attività**

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - COMMUTAZIONE

Commutazione di pacchetto

Studiata apposta per sorgenti intermittenti – usata principalmente nelle reti di calcolatori
Non si allocano le risorse per l'uso esclusivo di due utenti
Funzionamento analogo al servizio postale.



# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - COMMUTAZIONE

Commutazione di pacchetto – Funzionamento

1. Il messaggio da inviare viene frammentato in unità (segmenti)
2. Ogni segmento viene inserito in un **pacchetto**
3. Ogni pacchetto contiene, oltre ai dati veri e propri (payload) anche informazioni di controllo/segnalazione (header e trailer)
4. I pacchetti vengono consegnati alla rete
5. Il nodo di accesso alla rete e i nodi intermedi recapitano i pacchetti grazie alle informazioni di controllo

Pacchetti appartenenti allo stesso messaggio possono anche seguire percorsi diversi!!

Si realizza tra sorgente e destinatario un collegamento logico (e non un collegamento fisico).

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - COMMUTAZIONE

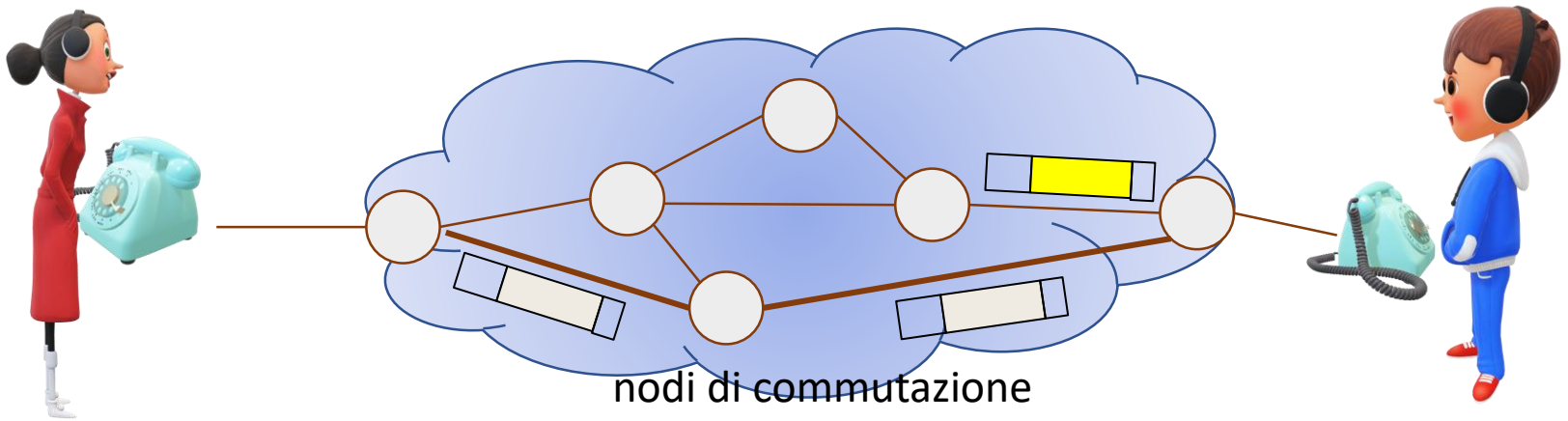
I pacchetti attraversano la rete passando da un nodo di commutazione a un altro fino a raggiungere il destinatario.

Il nodo che riceve un pacchetto da un canale in ingresso lo memorizza temporaneamente, analizza l'header per effettuare l'instradamento e poi lo manda verso il canale d'uscita.

Se il canale d'uscita è occupato da una trasmissione di un altro pacchetto, il nuovo pacchetto deve essere messo in attesa in una coda (buffer) d'uscita.

Il tempo di attesa nelle code influenza il tempo di attraversamento (ritardo) ed il funzionamento della rete stessa.

In condizioni di traffico elevato, se il numero di pacchetti in attesa cresce troppo (ritmo di arrivo superiore alla capacità di smaltimento del canale), il buffer può riempirsi e iniziare a perdere pacchetti per mancanza di spazio di memoria.



# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - COMMUTAZIONE

I pacchetti attraversano la rete passando da un nodo di commutazione a un altro fino a raggiungere il destinatario.
Il nodo che riceve un pacchetto da un canale in ingresso lo memorizza temporaneamente, analizza l'header per effettuare l'instradamento e poi lo manda verso il canale d'uscita.
Se il canale d'uscita è occupato da una trasmissione di un altro pacchetto, il nuovo pacchetto deve essere messo in attesa in una coda (buffer) d'uscita.
Il tempo di attesa nelle code influenza il tempo di attraversamento (ritardo) ed il funzionamento della rete stessa.
In condizioni di traffico elevato, se il numero di pacchetti in attesa cresce troppo (ritmo di arrivo superiore alla capacità di smaltimento del canale), il buffer può riempirsi e iniziare a perdere pacchetti per mancanza di spazio di memoria.

Vantaggi:
- Maggiore efficienza nell'utilizzo delle risorse della rete perché la rete è condivisa in maniera dinamica da più utenti
- Possibilità di implementare livelli di priorità in caso di congestione per favorire traffico particolarmente importante

Svantaggi:
- Essendo dinamica, è difficile garantire un determinato tempo di ritardo, quindi non è adatta per servizi real-time.

Teoria delle Code

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - COMMUTAZIONE

Commutazione di pacchetto - Modalità

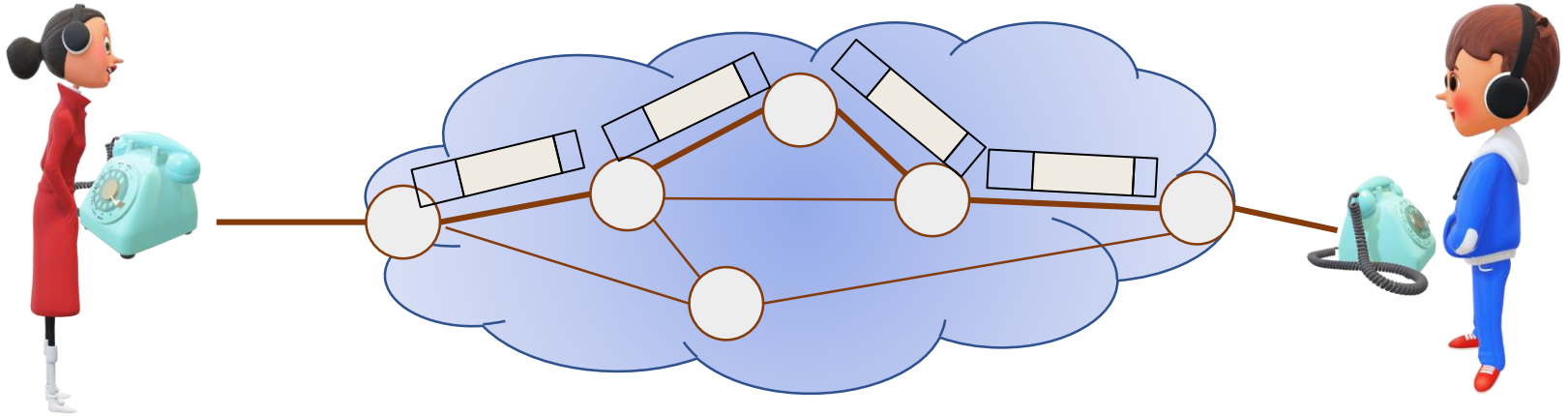
**Circuito virtuale :**

1. Prima dello scambio delle informazioni si ha una procedura di apertura della connessione, durante la quale si stabilisce il percorso dei pacchetti tra sorgente e destinatario
2. Questo percorso costituisce un circuito virtuale, che viene usato per l'instradamento dell'informazione e al quale è associato un numero
3. Tutti i pacchetti usano questo stesso percorso
4. I pacchetti non contengono l'indirizzo del destinatario, ma solo il numero del circuito virtuale da seguire

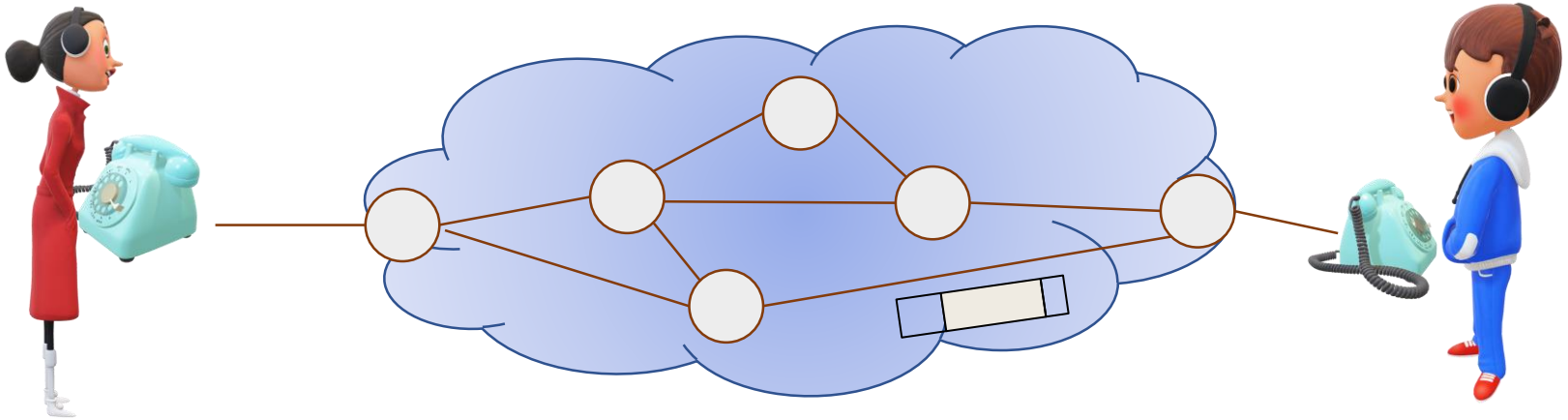
**Datagram:**

1. Tutti i pacchetti vengono gestiti ed instradati indipendentemente
2. Ogni pacchetto contiene tutte le informazioni di indirizzamento necessarie per raggiungere il destinatario
3. Pacchetti diversi appartenenti allo stesso flusso informativo possono seguire percorsi diversi, quindi giungere al destinatario in tempi diversi

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - COMMUTAZIONE



Una rete a commutazione di circuito realizza un collegamento fisico.



Una rete a commutazione di pacchetto realizza un collegamento logico.

# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - MULTIPLAZIONE

Tra i vantaggi delle reti c'è quello della condivisione delle risorse.

La multiplazione (multiplexing) consente di far condividere uno stesso canale a più flussi informativi mantenendoli distinguibili.

Per multipazione si intende il metodo con il quale un singolo canale viene diviso in molti canali allo scopo di trasmettere un certo numero di segnali indipendenti contemporaneamente.

Le tecniche più note:

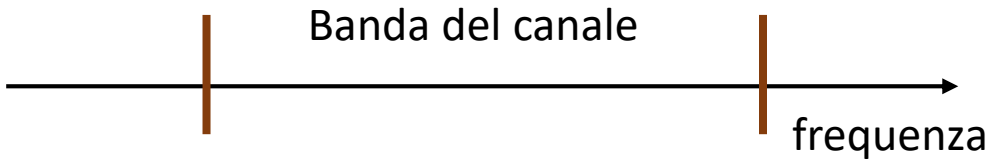
- FDM: Frequency Division Multiplexing
- WDM: Wavelength Division Multiplexing
- TDM: Time Division Multiplexing

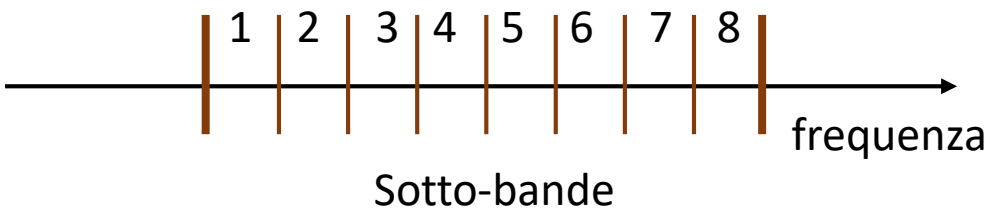
# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - MULTIPLAZIONE

FDM

La banda del canale viene divisa in sotto-bande, ciascuna sotto-banda è caratterizzata da una frequenza diversa e viene assegnata ad una trasmissione diversa.

(La banda del canale è l'insieme di frequenze che possono essere utilizzate in quel canale trasmissivo.)



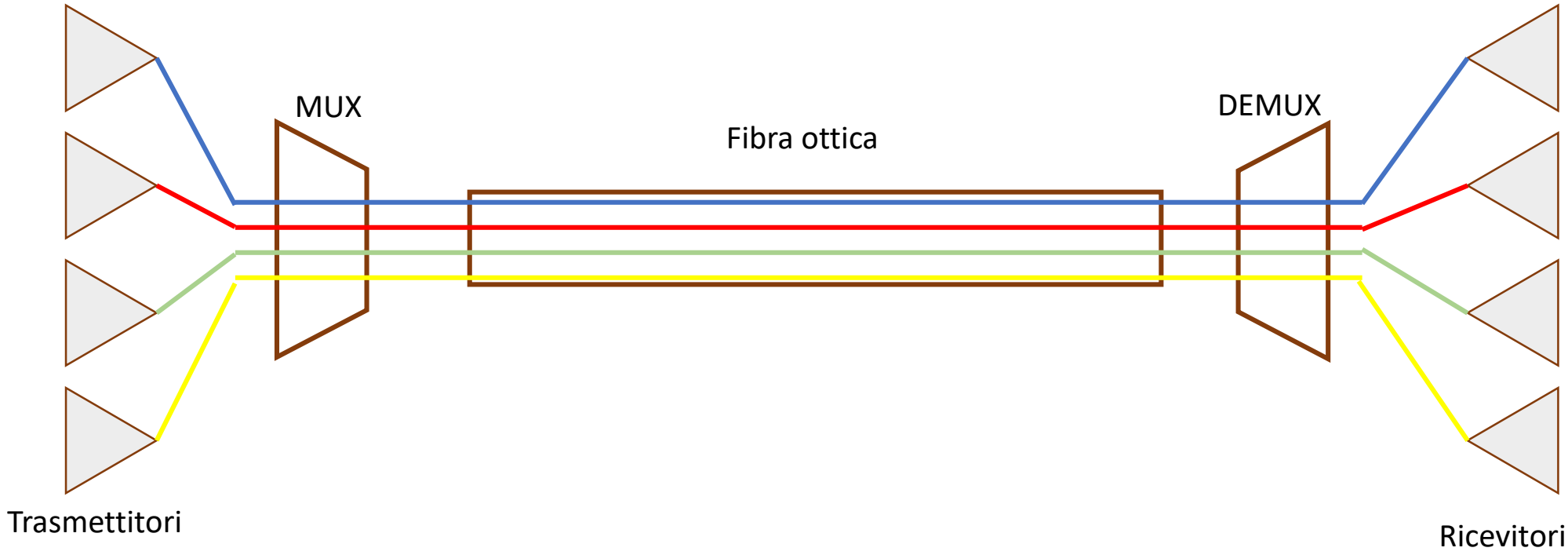
# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - MULTIPLAZIONE

WDM

Si utilizza nelle fibre ottiche.

Usa lo stesso principio della FDM, ma per ragioni storiche ha un altro nome, legato alla lunghezza d'onda.

(I diversi sottocanali sono chiamati portanti ottiche o «colori».)



# RETI DI TELECOMUNICAZIONI - MULTIPLAZIONE

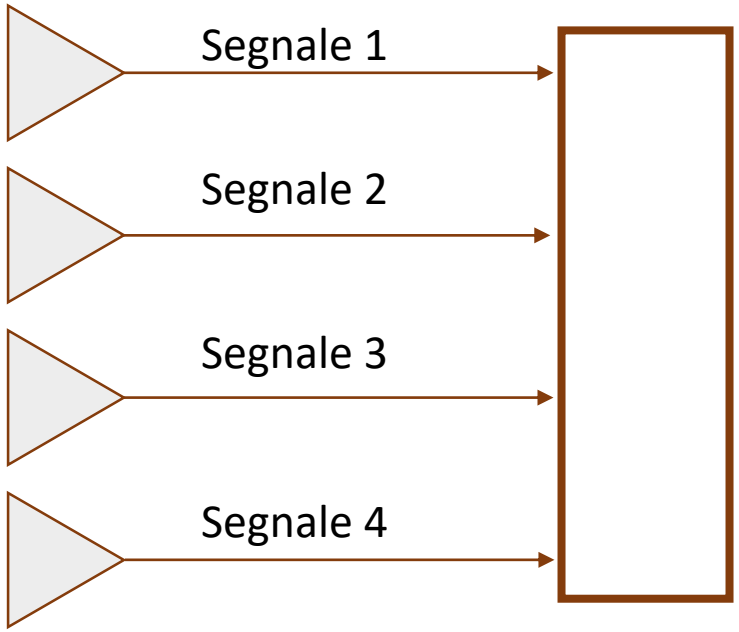
TDM

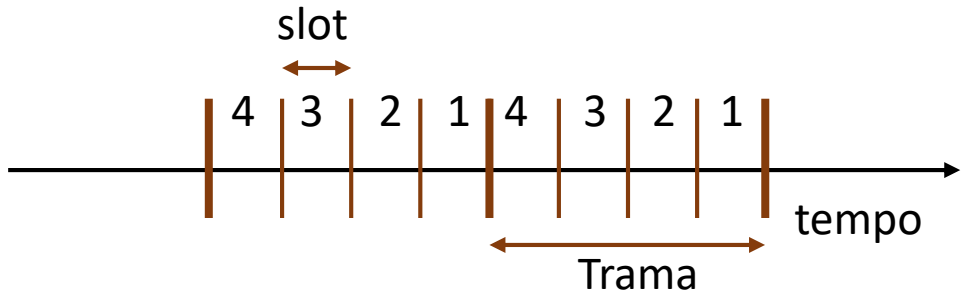
Il canale viene allocato a turno per un certo intervallo di tempo (slot) ai diversi utenti.

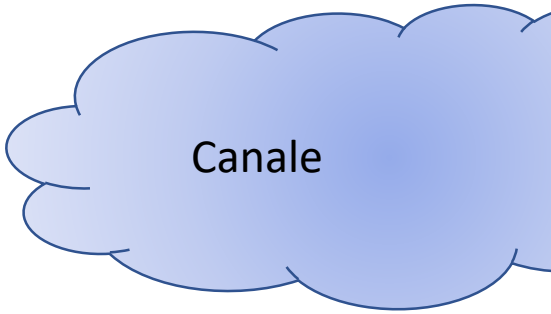
La capacità totale del canale viene suddivisa in trame.

Ogni trama viene suddivisa in slot.

Gli slot sono poi assegnati agli utenti.



# TELECOMUNICAZIONI - INDICE

Presentazione
Definizioni (Treccani e ITU)
Cenni storici
Reti di telecomunicazioni – Introduzione
Reti di telecomunicazioni – Classificazione
Reti di telecomunicazioni – Topologie
Reti di telecomunicazioni – (Rudimenti di) funzionamento: Commutazione & Multiplazione

**Commutazione** indica il processo di interconnessione necessario al trasferimento di informazione tra sorgente e destinatario.
**Multiplazione** indica il processo che permette la condivisione di uno stesso canale a più flussi informativi.

# EPILOGO

Le problematiche che abbiamo descritto rappresentano una minima parte di quelle che è necessario affrontare nello studio (vero) delle reti di telecomunicazione, che nel loro complesso richiedono...diversi corsi universitari!

**Every time you make a phonecall via the mobile, access the Internet or send an email, you are benefitting from the work of ITU.**

# EPILOGO

## Grazie per l'attenzione!

While in the past antenna design may have been considered a secondary issue in overall system design, today it plays a critical role.

In fact, many system successes rely on the design and performances of the antenna.

C.A. Balanis (born 1938), Antenna Theory - Analysis and design, fourth edition, Wiley, 2016