

# **Telecomunicazioni: nozioni fondamentali**

**Liceo G.B. Brocchi – Bassano del Grappa (VI)**  
**Liceo Scientifico – opzione scienze applicate**  
Giovanni Mazzocchin

# Sistemi di telecomunicazione analogici

- Dai primi decenni del 1800 fino agli anni 1960/1970, i sistemi per la trasmissione di segnali audio e video erano analogici
  - **PSTN** (***P**ublic **S**witched **T**elephone **N**etwork* – *Rete Telefonica Pubblica Commutata*): comunicazione in fonìa, ossia la telefonia fissa
  - **sistemi radio per la fonìa bidirezionale**: si pensi ai sistemi utilizzati dalle forze dell'ordine
  - **sistemi radio *broadcast*** (trasmissione da una stazione verso tutti gli utenti all'interno di un'area geografica): la classica radio che accendete in macchina
  - **sistemi *broadcast* per i segnali televisivi**: avrete sicuramente notato che sul tetto di casa vostra c'è un'antenna...

# Trasduzione e amplificazione

- Nella lezione precedente abbiamo visto che il segnale telefonico deriva dalla «conversione» della voce in segnale elettrico. Questa conversione prende il nome di *trasduzione*

## **TRASDUZIONE**

**è la funzione svolta da un dispositivo elettromeccanico o elettronico che è in grado di trasferire il contenuto informativo di un segnale avente una certa forma di energia ad un segnale analogo di natura (energia) diversa (esempi: microfono, altoparlante di un apparecchio telefonico)**

# Trasduzione e amplificazione

- I segnali elettrici trasmessi perdono energia all'aumentare della lunghezza del cavo. Per questo motivo è necessario *amplificarli*

## **AMPLIFICAZIONE**

**è la funzione svolta da un apparato detto *amplificatore*, che fornisce in uscita un segnale di potenza maggiore di quella del segnale in ingresso**

# Segnali analogici in *banda base* (*baseband*)

- Un sistema di trasmissione analogico che applica soltanto i passaggi di trasduzione e amplificazione viene detto **sistema analogico in banda base**
- Non conoscete ancora il concetto di *banda di frequenze*, lo vedremo nel dettaglio. Per ora ricordatevi che in una trasmissione *baseband* vengono conservate le frequenze del segnale originale
- Un segnale elettrico in banda base è proporzionale al segnale in ingresso al trasduttore

# Modulazione

- **Modulare** significa trasferire il contenuto informativo di un segnale in bassa frequenza in un segnale a frequenza molto più alta
- Per chi ha studiato musica, il termine modulazione ha un significato in qualche modo analogo... ma non esageriamo con le analogie
- Perché si modula? Non si può sempre trasmettere direttamente il segnale trasdotto alla frequenza di partenza? Come si fa ad *imprimere* l'informazione del segnale originale su un segnale di frequenza molto più elevata (*portante*)?
- Per le trasmissioni radio (i.e. senza fili) è indispensabile modulare, vediamo perché nella prossima slide

# Modulazione

- Un segnale radio viene trasmesso e ricevuto da **antenne** (trasduttori in grado di convertire onde elettromagnetiche in corrente elettrica e viceversa)
- Un'antenna, per operare in modo efficace, dovrebbe avere una lunghezza proporzionale alla lunghezza d'onda del segnale che riceve in ingresso
- Facciamo due conti e vediamo quanto lunga dovrebbe essere un'antenna per ricevere in banda base la nota *la* emessa da un diapason

# Modulazione

1. Un diapason emette il *la* a 440 Hz come segnale acustico sinusoidale
2. Un microfono lo converte in segnale elettrico avente la stessa frequenza
3. L'antenna converte il segnale elettrico in segnale radio. Consideriamo questa velocità di propagazione del segnale:
  - $v_p = 2,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

**Recuperate dalla Fisica la relazione tra velocità di propagazione, frequenza e lunghezza d'onda, e valutate quanto dovrebbe essere lunga l'antenna che capta il suono emesso dal diapason. Cosa succede se il segnale viene modulato a 50 MHz?**



# La Fisica non perdona...

- Il contenuto informativo impresso su un segnale può essere degradato (i.e. il ricevitore riceve un segnale diverso dal segnale trasmesso) a causa di:
  - **distorsioni**: modifica indesiderata della forma del segnale
  - **interferenze**: disturbi causati da altri sistemi di telecomunicazioni, o che comunque emettono onde elettromagnetiche (pensate ai forni a microonde)
  - **attenuazione**: diminuzione della potenza del segnale
  - **rumore**: energia (dovuta a diverse cause indagate dalla Fisica) che si somma al segnale informativo in modo casuale

# Signal to Noise Ratio

Il rapporto segnale-rumore (**S/N** o **SNR**), valutato in un punto del sistema di trasmissione (e.g. al ricevitore) è definito come:

$$SNR = \frac{P_s}{P_n}$$

dove:

- $P_s$  è il livello di potenza del segnale informativo
- $P_n$  è il livello di potenza del rumore

riprendere dalla Fisica il concetto di potenza e la sua unità di misura

# Signal to Noise Ratio in decibel

L'SNR viene generalmente espresso in **decibel** (**dB**, 1/10 di bel), nel seguente modo:

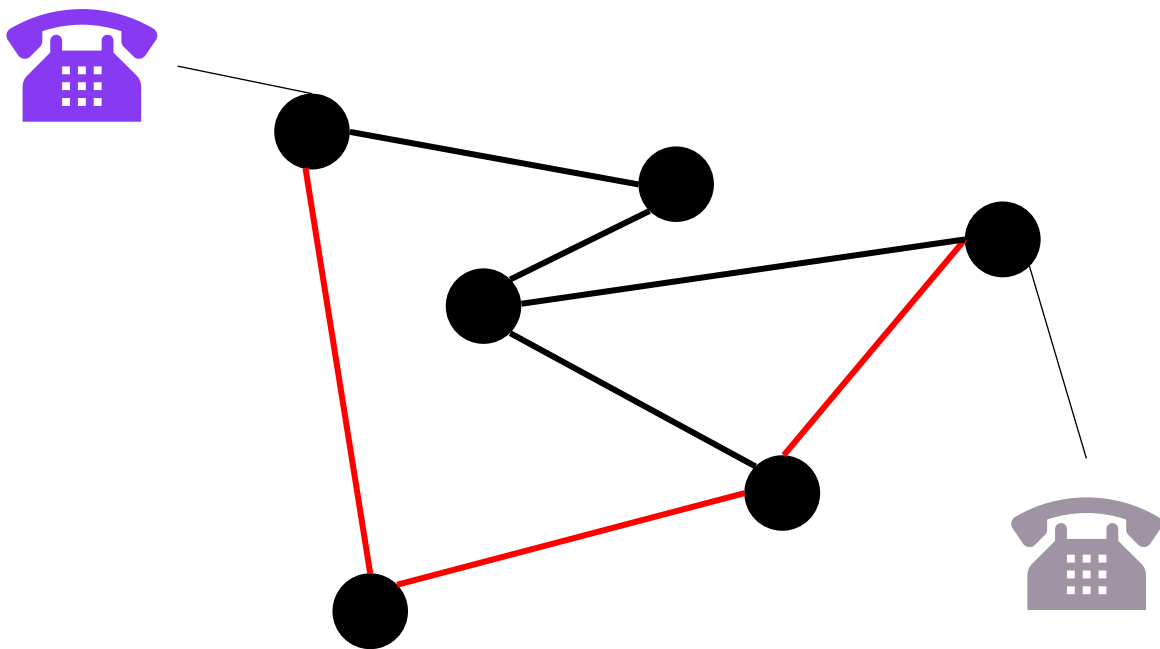
$$SNR_{db} = 10 \log_{10} \frac{P_s}{P_n}$$

calcolare il  $SNR$  in decibel per rapporti di potenze segnale/rumore pari  $10, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5$

# Commutazione di circuito (*circuit switching*)

- **Commutazione:** instradamento delle informazioni all'interno di una rete dalla sorgente alla destinazione
- In un sistema di trasmissione a **commutazione di circuito**, viene instaurato un **collegamento temporaneo riservato** alla coppia di utenti. È il tipo di commutazione che ha fatto la fortuna del sistema telefonico
- Una chiamata telefonica a commutazione di circuito prevede:
  1. l'instaurazione della connessione (*setup*) - ovviamente richiede un certo tempo, ma una volta instaurato il circuito, la voce viaggia praticamente alla velocità della luce
  2. mantenimento della connessione: la connessione viene mantenuta anche quando i 2 interlocutori tacciono, ossia non inviano alcun segnale fonico sulla linea (lo spreco di risorse è evidente)
  3. abbattimento della connessione: avviene quando almeno uno dei 2 utenti riaggancia. Il circuito, che durante la chiamata risultava occupato, ora è libero per altri utilizzi

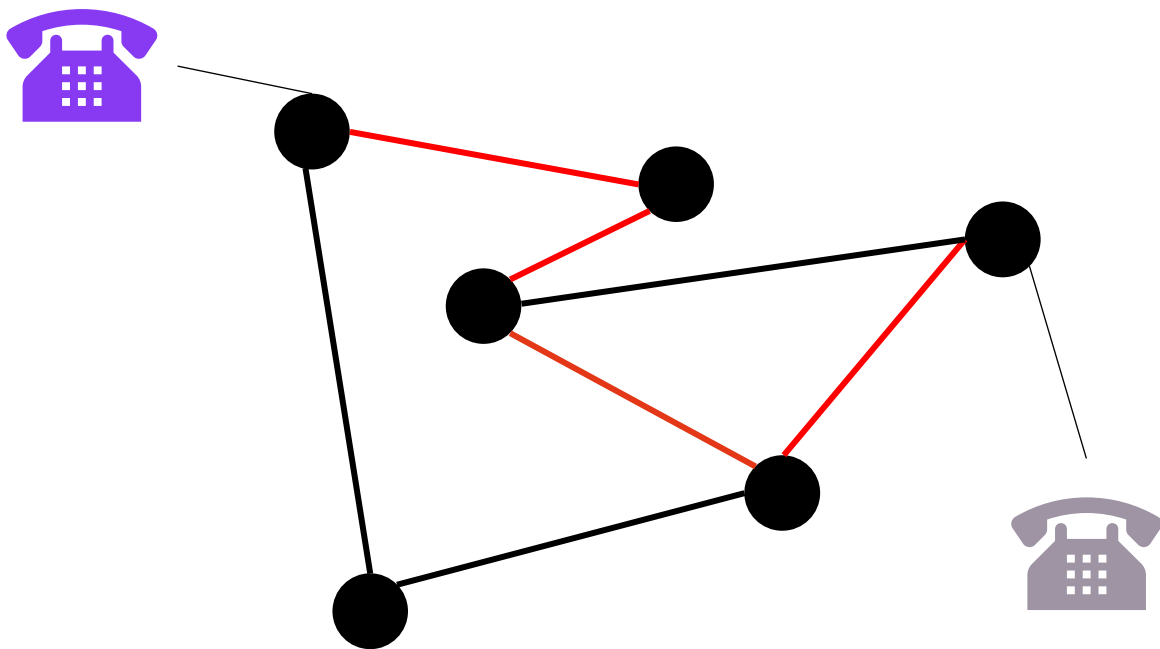
# Commutazione di circuito (*circuit switching*)



**il grafo qui  
riportato è una  
rappresentazione  
astratta della rete  
telefonica, che in  
realtà ha  
un'organizzazione  
gerarchica  
piuttosto  
complessa**

in rosso sono indicati i collegamenti costituenti un possibile circuito telefonico instaurato dal sistema quando il telefono viola chiama il telefono grigio (o viceversa)

# Commutazione di circuito (*circuit switching*)



**cosa succede se  
provate ad  
utilizzare la PSTN  
quando le linee  
sono tutte  
occupate?**

in rosso sono indicati i collegamenti costituenti un possibile circuito telefonico instaurato dal sistema quando il telefono viola chiama il telefono grigio (o viceversa)

# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)

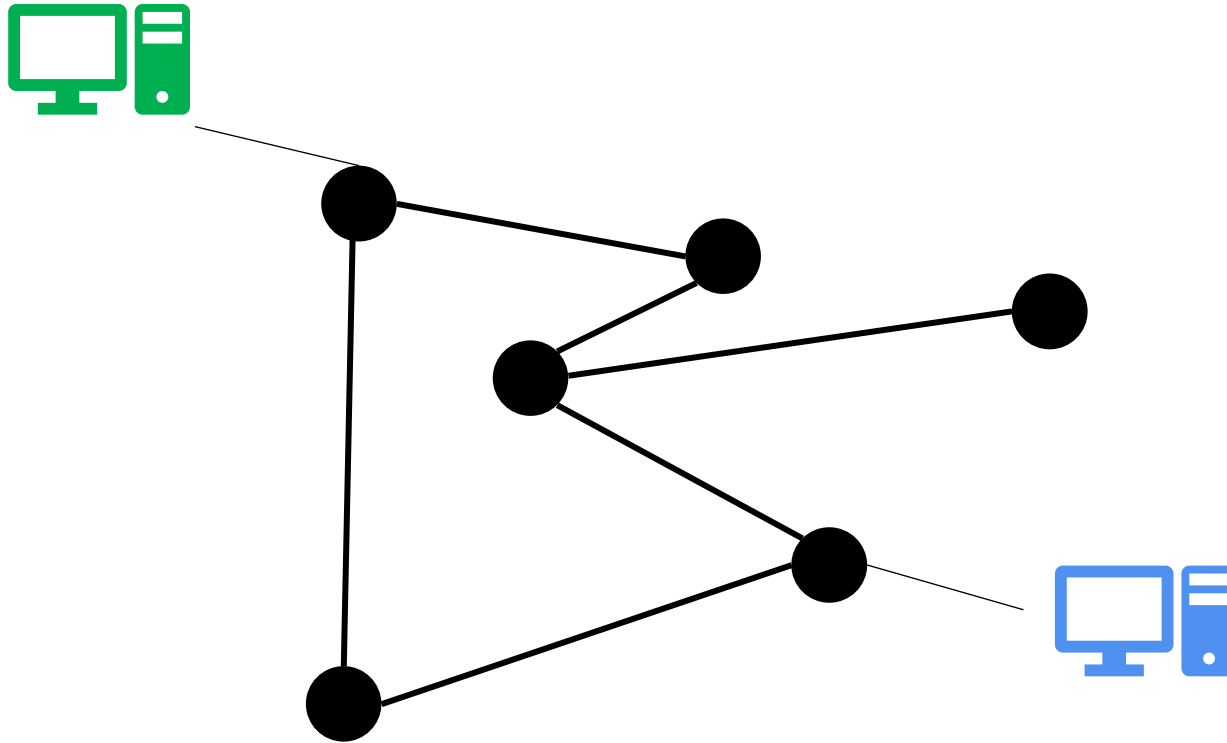
- In un sistema di trasmissione a **commutazione di pacchetto** (utilizzata nelle reti di computer per la trasmissione di dati digitali) non viene creato alcun circuito riservato per la comunicazione tra 2 macchine attraverso la rete. I dati (ad esempio un file) vengono scomposti in **pacchetti**, e ogni pacchetto viene instradato nella rete in modo indipendente dagli altri
- Ciascun pacchetto contiene alcune informazioni fondamentali per l'instradamento, tra cui l'indirizzo del mittente e l'indirizzo del destinatario
- Internet (rete basata sullo stack TCP/IP) si basa proprio sulla commutazione di pacchetto, quindi possiamo considerarla una tecnologia veramente rivoluzionaria! La prima rete a commutazione di pacchetto è stata ARPANET (precursore di Internet)

# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)

- Per realizzare la commutazione di pacchetto serve un bel po' di *intelligenza*, ossia di software!
- Il software che pacchettizza le informazioni e le instrada nella rete è organizzato come **pila di protocolli** (vedere la prima lezione)
- È evidente che stiamo parlando di sistemi di telecomunicazioni molto più complessi della PSTN, della radio e della tv broadcast analogiche
- La commutazione di pacchetto ha avuto un successo così grande che oggi viene usata praticamente per tutto, non solo per i classici *dati*, ma anche per voce e video

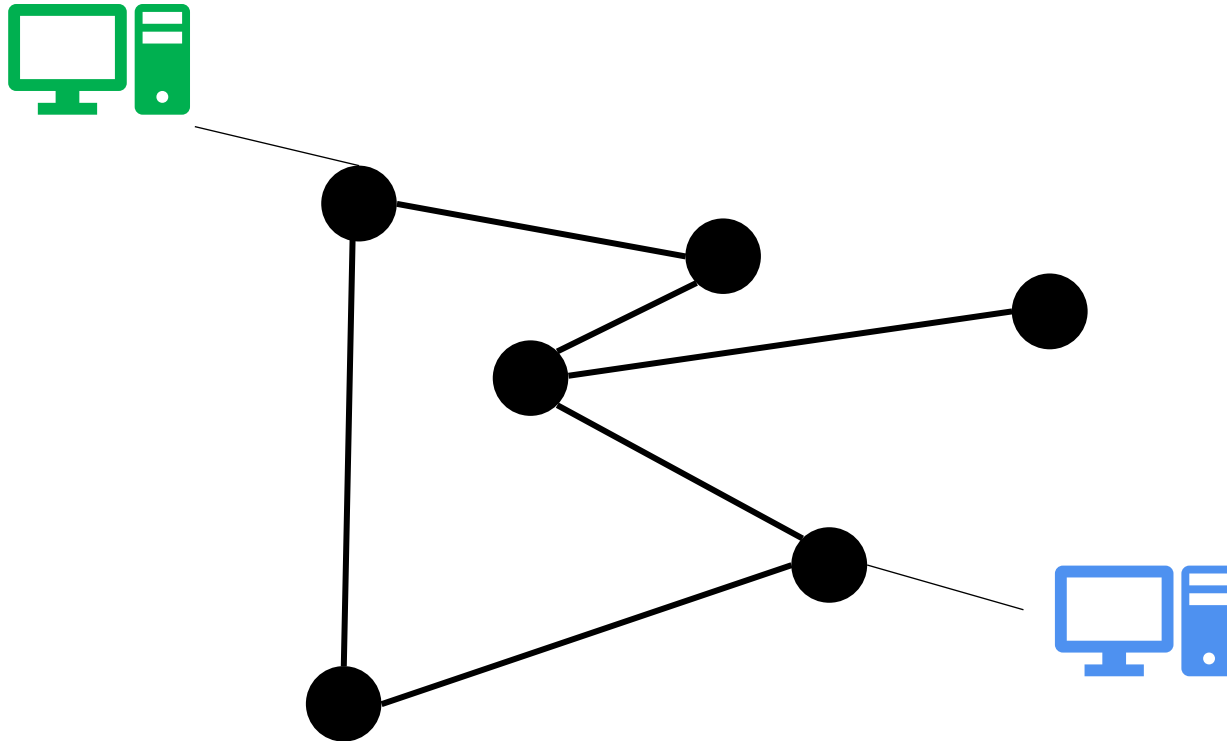


# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)



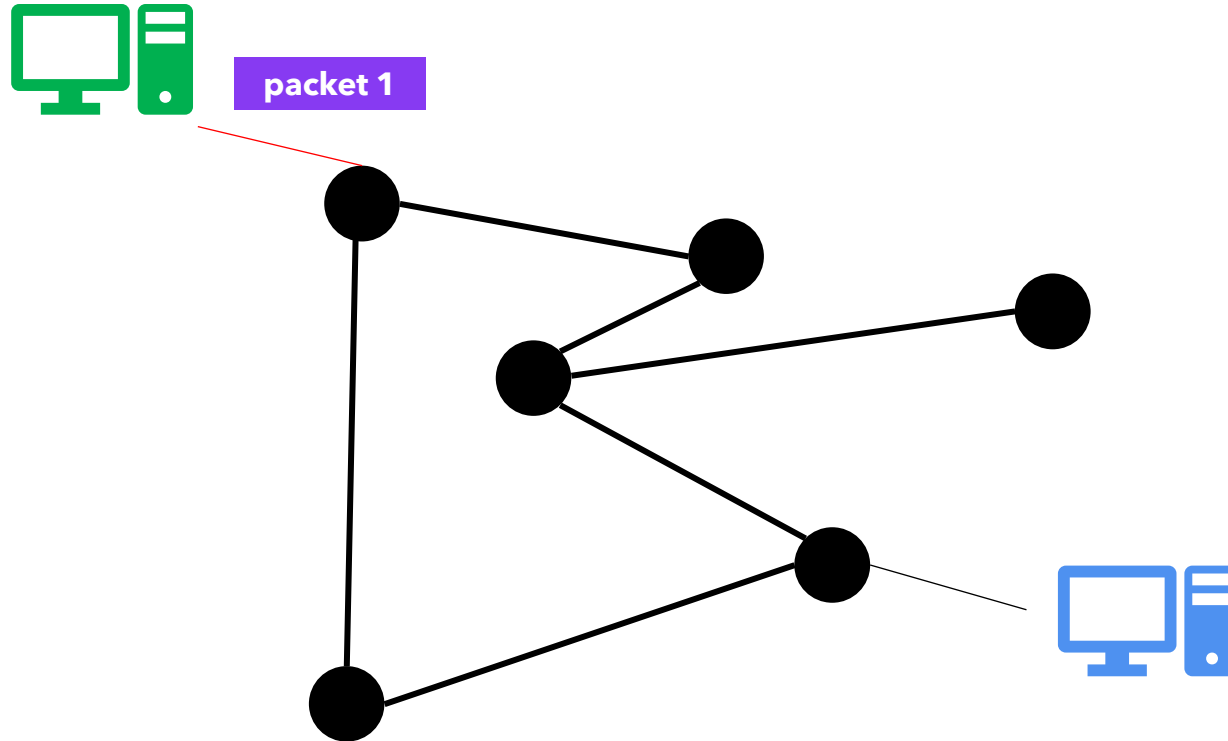
**i nodi che si occupano dell'instradamento in una rete *packet switched* sono detti *router* (chiamate così la scatoletta che avete a casa?), per ora possiamo chiamarli semplicemente *nodi di rete***

# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)



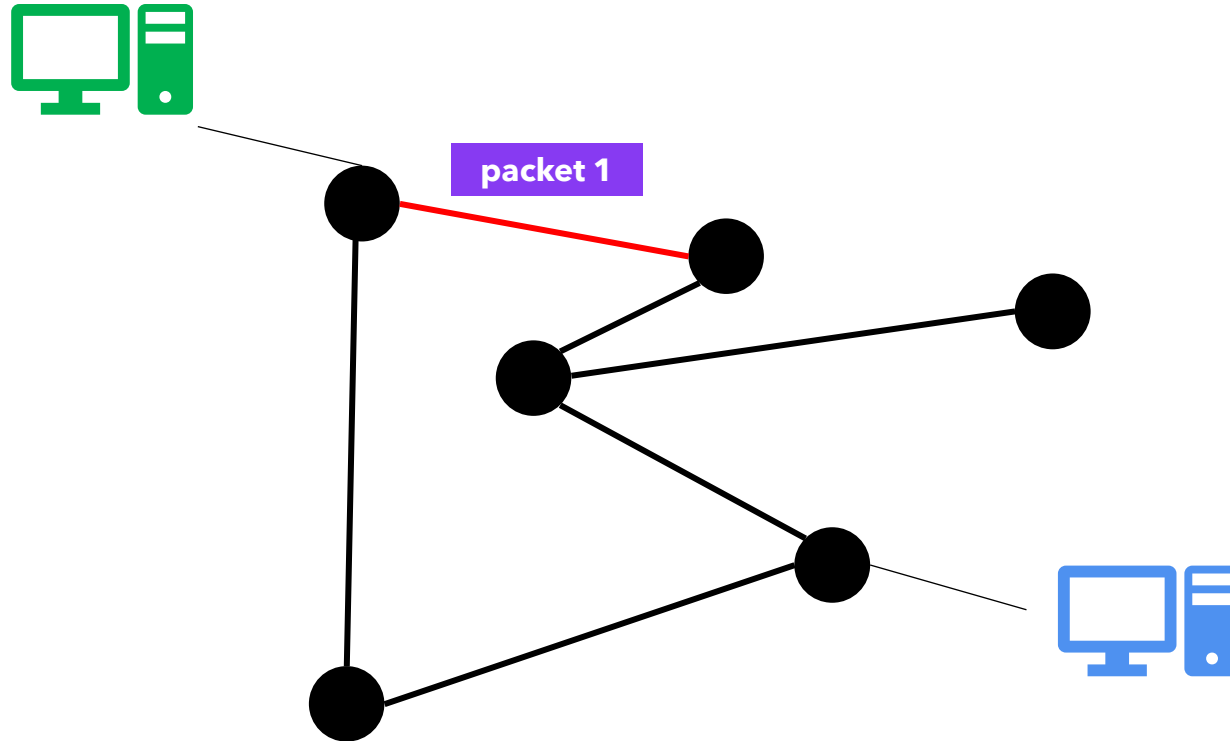
**il computer verde  
vuole inviare un  
file PDF al  
computer blu.  
Ipotizziamo che il  
software installato  
sul computer verde  
suddivida il file in 2  
pacchetti (il  
termine non è il  
massimo, ma per  
ora va bene)**

# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)

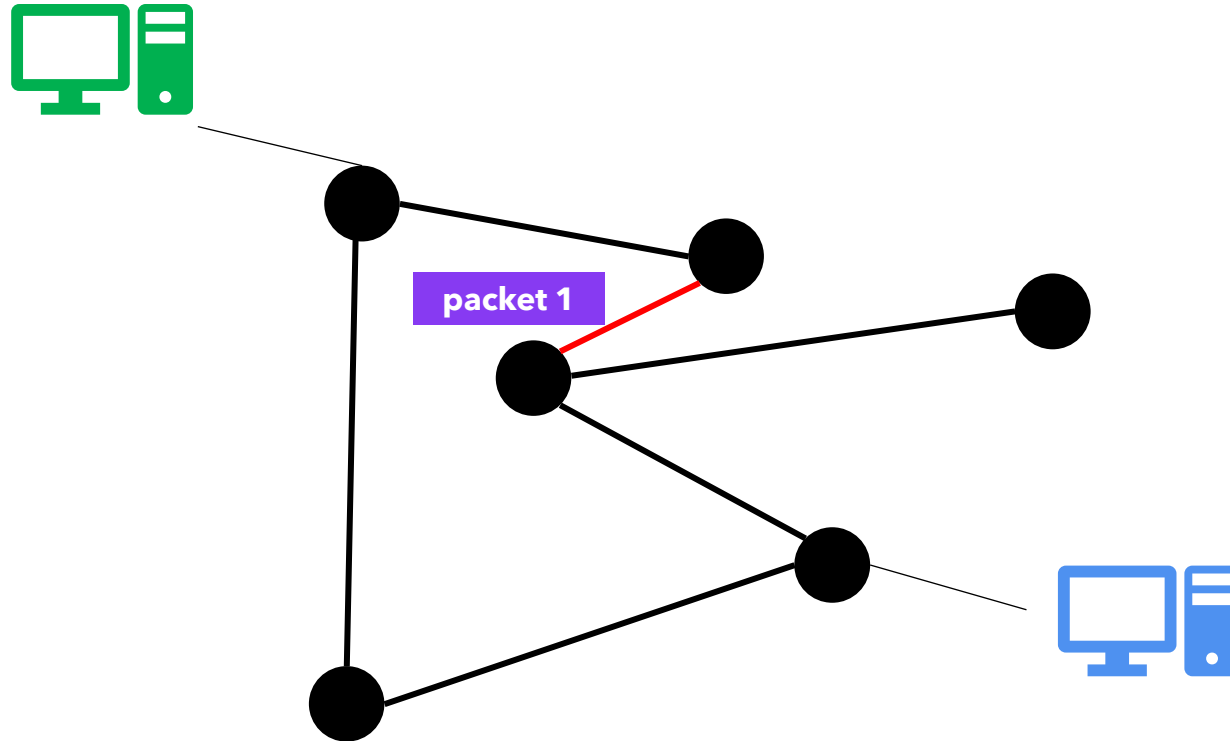


**il primo pacchetto  
percorre la sua  
strada. Come viene  
scelta la strada?**

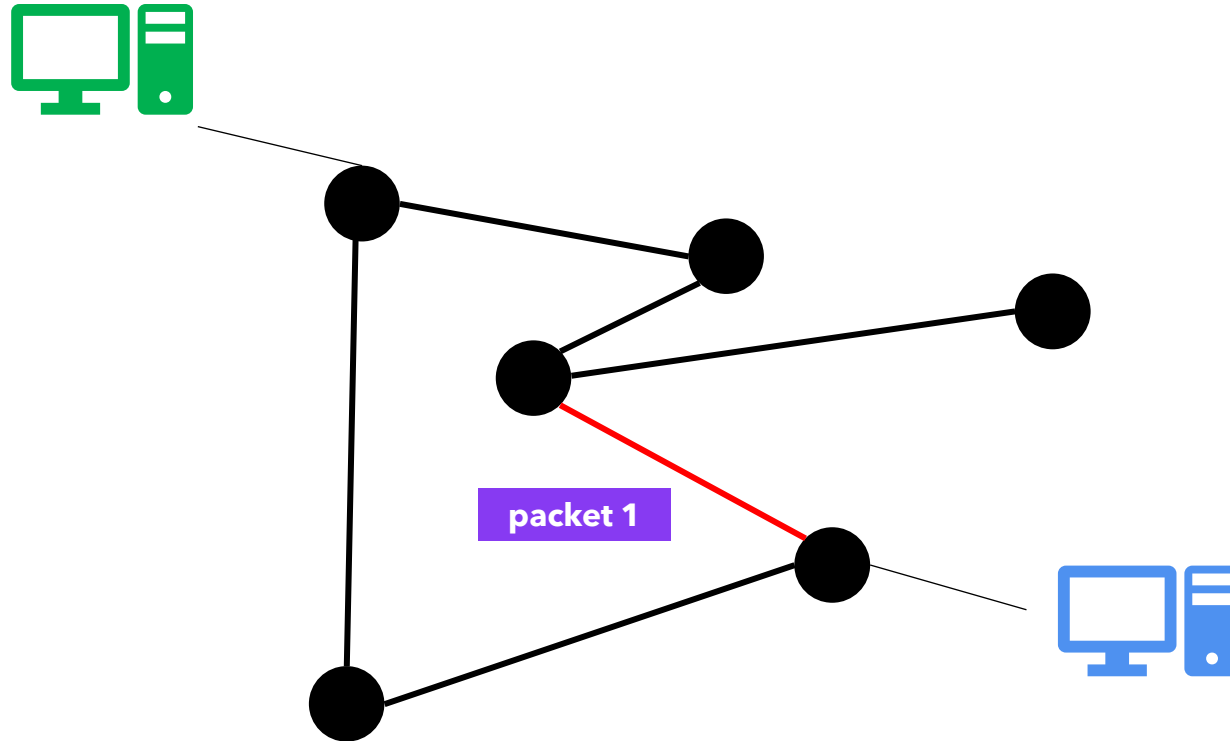
# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)



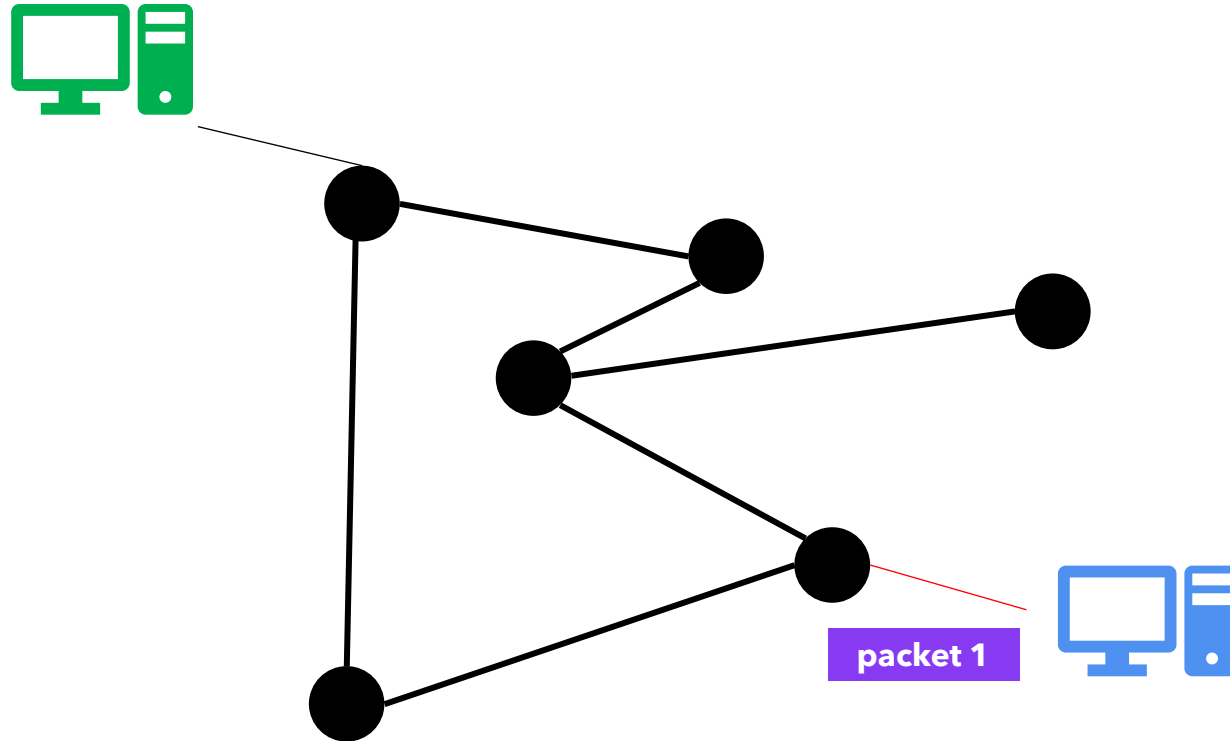
# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)



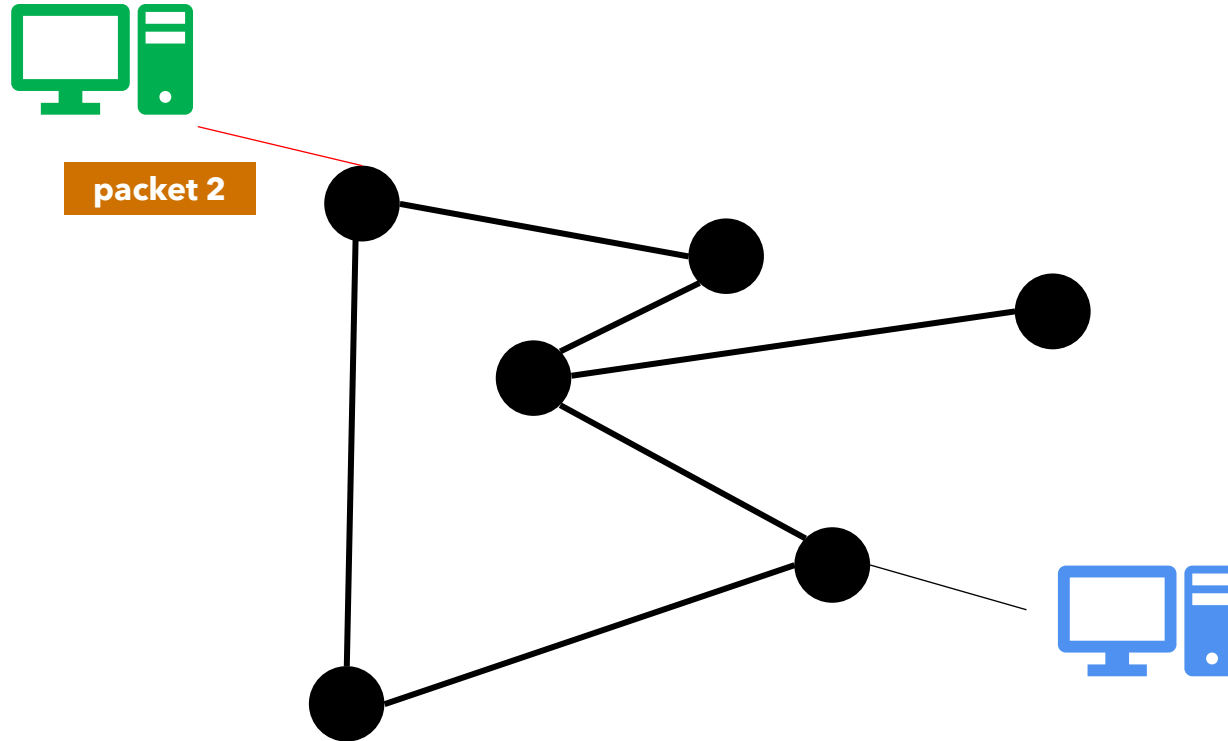
# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)



# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)



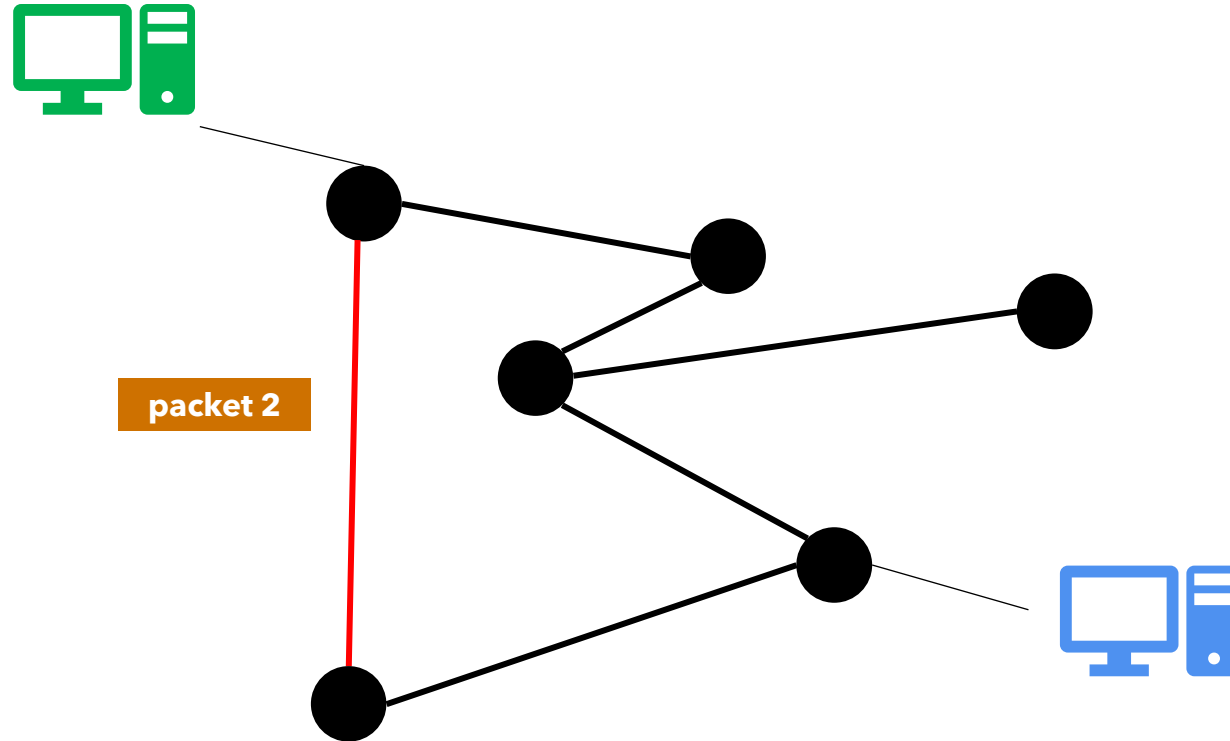
# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)



**il secondo  
pacchetto percorre  
la sua strada in  
modo  
indipendente dal  
primo pacchetto**

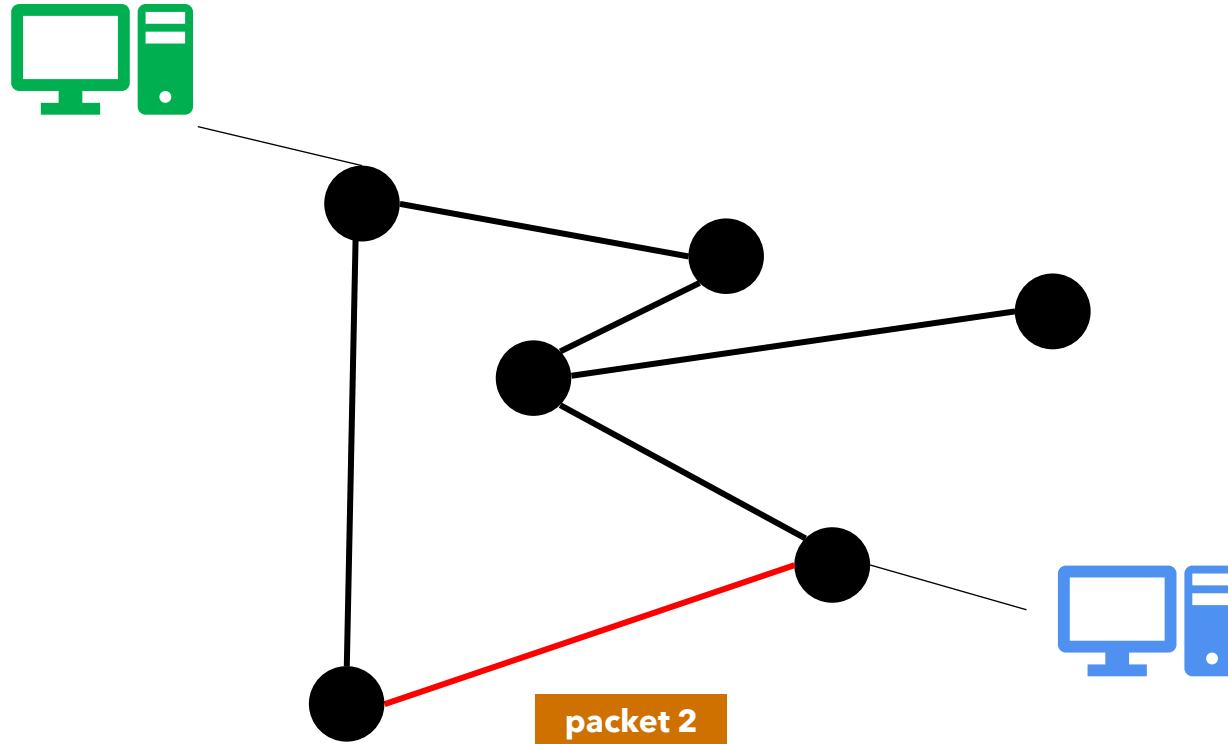


# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)



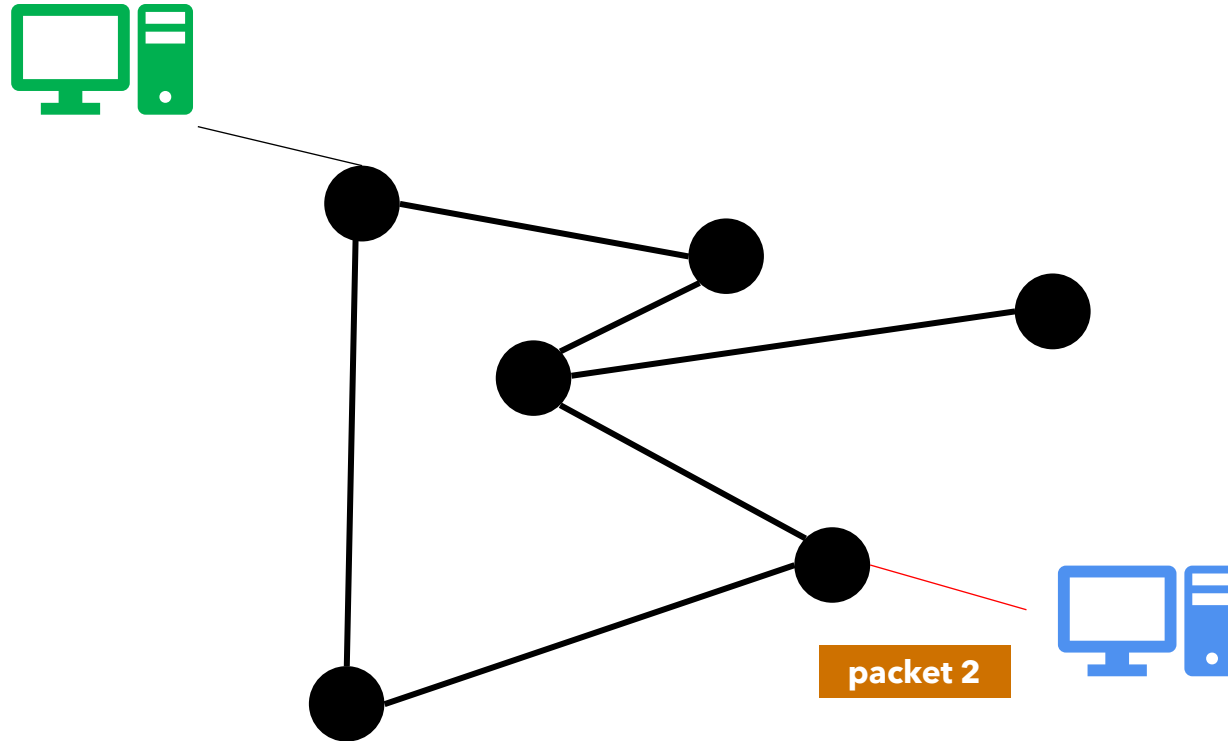
**il secondo  
pacchetto percorre  
la sua strada in  
modo  
indipendente dal  
primo pacchetto**

# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)



**il secondo  
pacchetto percorre  
la sua strada in  
modo  
indipendente dal  
primo pacchetto**

# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)



**il secondo  
pacchetto percorre  
la sua strada in  
modo  
indipendente dal  
primo pacchetto**

# Commutazione di pacchetto (*packet switching*)

- Consideriamo la rete *packet switched* più famosa, Internet
- Abbiamo capito che se provate a telefonare quando tutti i collegamenti di una rete telefonica *circuit switched* sono occupati, il sistema vi risponderà: *tutte le linee sono occupate*
- Anche Internet si comporta così? Quando c'è molto traffico vi risponde nello stesso modo?
- No, una rete *packet switched* invia comunque i pacchetti anche quando la rete è congestionata
- Questo non significa che la rete faccia miracoli: se la congestione è notevole si avranno ritardi nella consegna dei pacchetti
- Secondo voi, perché il *packet switching* è nato in ambito militare?

# Grandezze fondamentali nelle reti

- **Bit rate:** o velocità di trasmissione, è il numero di bit trasmessi su un canale di comunicazione per unità di tempo. Si misura in **bit/s** (*bit per second*). Spesso si utilizza l'abbreviazione **bps**
- Multipli:
  - 1 kbit/s:  $10^3$  bit/s (kilo)
  - 1 Mbit/s:  $10^6$  bit/s (mega)
  - 1 Gbit/s:  $10^9$  bit/s (giga)
  - 1 Tbit/s:  $10^{12}$  bit/s (tera)

# Grandezze fondamentali nelle reti

- **Delay** (*propagation time*, latenza): il tempo che impiega un bit per andare dal trasmittente a ricevitore (nulla è istantaneo: la velocità della luce è finita, e Einstein ci insegna che nulla può superarla). Dipende principalmente dalla lunghezza del canale
- **Error rate**: probabilità che il ricevente riceva un bit invertito (*flipped bit*)
- **Bandwidth-delay product (BDP)**: *bit rate* · *delay*

Esempio:

- ***bit rate***: 10 Mbit/s, ***delay***: 1 ms

$$BDP = 10^7 \text{ bit/s} \cdot 0,001 \text{ s} = 10000 \text{ bit}$$

significa che il cavo contiene 10000 bit in ogni istante; possiamo vederli come *bit ancora in transito verso la destinazione*

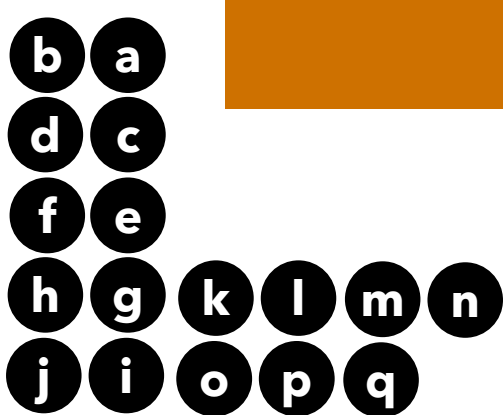
ciascun bit inviato impiega quindi 1 ms per compiere il tragitto dalla sorgente al ricevitore

# Analogia sulle grandezze fondamentali

- **Bit:** palline
- **Canale:** tubo
- **Scheda di rete della sorgente:** persona che spara palline nel tubo
- **Scheda di rete del ricevitore:** persona all'altra estremità del tubo
- **Quantità di dati da trasmettere:** numero di palline

# Analogia sulle grandezze fondamentali

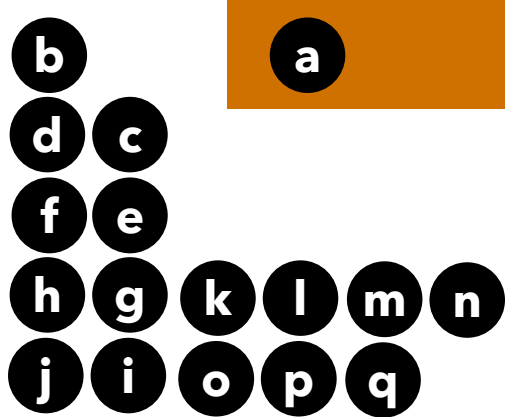
- **Bit rate:** numero di palline lanciate al secondo
  - ipotizziamo che la sorgente immetta nel tubo 5 palline al secondo (*ball rate: 5 balls/s*). Le palline sono identificate da una lettera per rendere l'esempio più chiaro
- **Delay:** tempo che impiega una pallina per andare da un'estremità all'altra
  - ipotizziamo che una pallina impieghi 3 secondi per andare da un'estremità all'altra del tubo



situazione prima di iniziare a trasmettere



# Analogia sulle grandezze fondamentali



$$t = 0 - 0,2 s$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



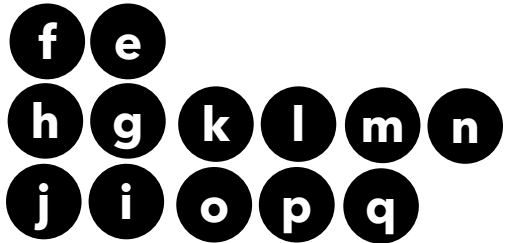
$$t = 0,2 - 0,4 \text{ s}$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



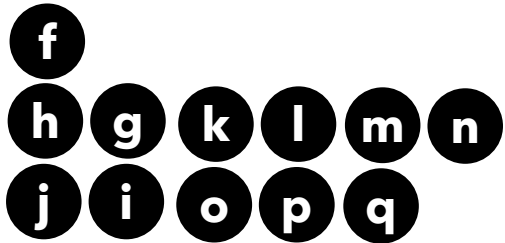
$$t = 0,4 - 0,6 \text{ s}$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



$$t = 0,6 - 0,8 \text{ s}$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



5 palline sono state inviate in un secondo, ma  
evidentemente non sono ancora arrivate

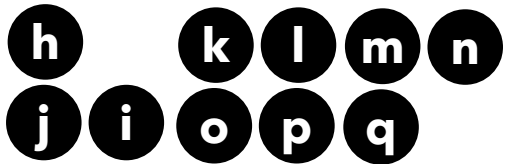
$$t = 0,8 - 1 s$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



$$t = 1 - 1,2 s$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



$$t = 1,2 - 1,4 \text{ s}$$

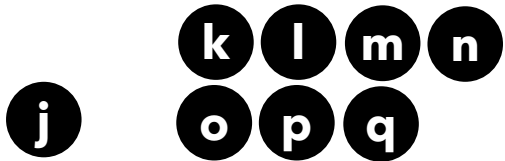
# Analogia sulle grandezze fondamentali



$$t = 1,4 - 1,6 \text{ s}$$



# Analogia sulle grandezze fondamentali



$$t = 1,6 - 1,8 \text{ s}$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



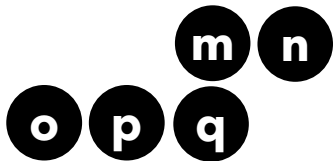
$$t = 1,8 - 2 s$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



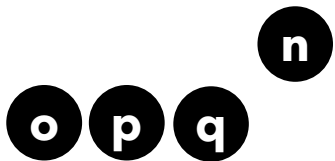
$$t = 2 - 2,2 s$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



$$t = 2,2 - 2,4 \text{ s}$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



$$t = 2,4 - 2,6 \text{ s}$$

# Analogia sulle grandezze fondamentali



$$t = 2,6 - 2,8 \text{ s}$$



# Analogia sulle grandezze fondamentali



$$t = 2,8 - 3 s$$

p q

**Bandwidth-delay product:** 15 palline

# Unicasting, broadcasting, multicasting

- **Unicasting:** collegamento *point-to-point* con 1 mittente ed 1 destinatario
- **Broadcasting:** in una rete *broadcast*, il canale di comunicazione è condiviso. Le informazioni trasmesse da una macchina vengono ricevute da tutte le altre macchine (gli indirizzi permettono alle macchine di capire a chi è destinato veramente il pacchetto). Le reti wireless (radio FM/AM, TV, Wi-Fi) sono naturalmente *broadcast*. In una rete broadcast, una macchina può utilizzare un indirizzo speciale per inviare un pacchetto a tutte le macchine in rete
- **Multicasting:** si ha multicasting quando, all'interno di una rete broadcast, una macchina può indirizzare un pacchetto ad un *gruppo* di macchine destinatarie



# Da vedere/leggere/visitare a casa

- [The Making of Information Age: Enfield Telephone Exchange](#)
- [AT&T Archives: The Step-By-Step Switch](#)
- [Computing Conversations: Len Kleinrock on the Theory of Packets](#)
- [It's the Latency, Stupid](#)