

Reti di Calcolatori

UniVR - Dipartimento di Informatica

Fabio Irimie

1° Semestre 2024/2025

Indice

1	Introduzione	2
2	Architetture di rete	3
2.1	Reti locali	3
2.1.1	Organizzazione del Backbone	4
3	Modalità di comunicazione	5
3.1	Reti a commutazione di circuito	5
3.1.1	Vantaggi	6
3.1.2	Svantaggi	7
3.2	Reti a commutazione di pacchetto	7
3.2.1	Vantaggi	8
3.2.2	Svantaggi	8
4	Ritardi di trasmissione	9
4.1	Ordine di grandezza	10
4.2	Strumenti per calcolare il ritardo end-to-end	10
4.2.1	Ping	10
4.2.2	Traceroute	11
4.3	Quantità di dati trasferiti	12

1 Introduzione

Il problema principale che bisogna affrontare è la comunicazione tra 2 calcolatori, cioè lo scambio di informazioni. Per far comunicare 2 calcolatori c'è bisogno di alcuni requisiti:

1. **Protocollo:** È un insieme di regole che sovrintende alla comunicazione, in cui si definiscono:
 - Il formato dei messaggi
 - Le azioni da intraprendere nel gestire i messaggi stessi

Questo perchè per comunicare tutti devono "parlare la stessa lingua".

2. **Architettura di rete:** Come, fisicamente, trasportare i messaggi

Esempio 1.1. Prendiamo ad esempio la scrittura e la spedizione delle lettere. Ci sono 2 utenti che vogliono scambiare delle lettere. Per gestire il trasporto della lettera essa viene messa all'interno di una **busta**, che contiene informazioni su dove deve essere spedita. Una volta imbustata, va imbucata in una cassetta delle lettere da cui poi verrà prelevata e mandata alla cassetta delle lettere del secondo utente dalla **rete** di distribuzione degli uffici postali. L'utente poi preleverà la lettera dalla cassetta delle lettere e dopo aver controllato le informazioni sulla busta, la aprirà e leggerà il contenuto.

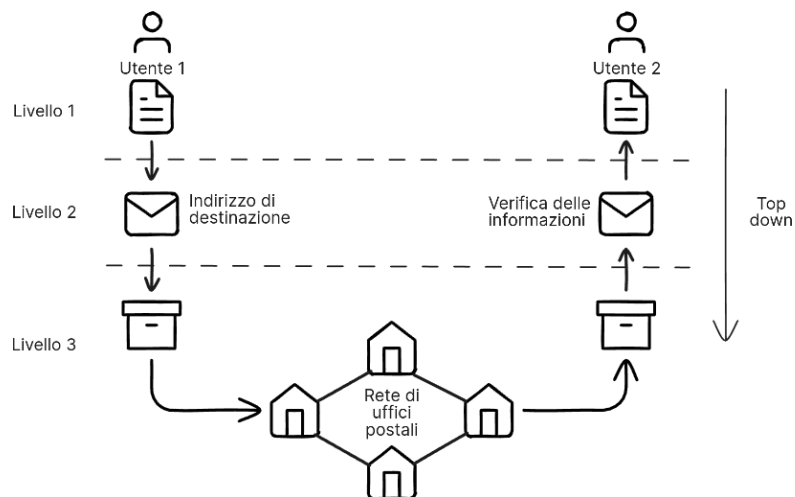


Figura 1: Esempio di comunicazione tra 2 utenti

Il **Protocollo** è il linguaggio utilizzato per comunicare tra i 2 utenti, mentre l'**Architettura di rete** è tutta quella infrastruttura che trasporta il messaggio tra i 2 utenti.

La rappresentazione dei sistemi di comunicazione di solito viene fatta nella modalità **top-down**, cioè si parte dal livello applicativo, quello più alto, fino a scendere nei livelli più bassi in cui si trova la vera e propria architettura della rete.

2 Architetture di rete

Di solito si fa riferimento all'architettura più utilizzata, cioè la rete **Internet**. Si possono distinguere i seguenti elementi base:

- **Calcolatori (End host)**
- **Router (Intermediate host)**
- **Collegamenti**

2.1 Reti locali

Le reti locali, o **LAN** (Local Area Network), sono caratterizzate da un **router di bordo** a cui sono collegati gli end host tramite **cavi fisici** o collegamenti wireless.

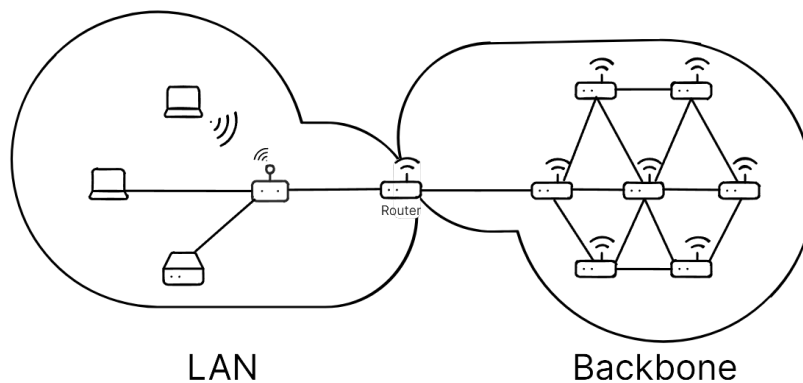


Figura 2: Rete locale

Per collegare diverse LAN tra loro esiste la **backbone**, cioè è una rete di router collegati tra di loro con una topologia gestita dal gestore della rete. Questi router sono geograficamente distribuiti su tutto il territorio.

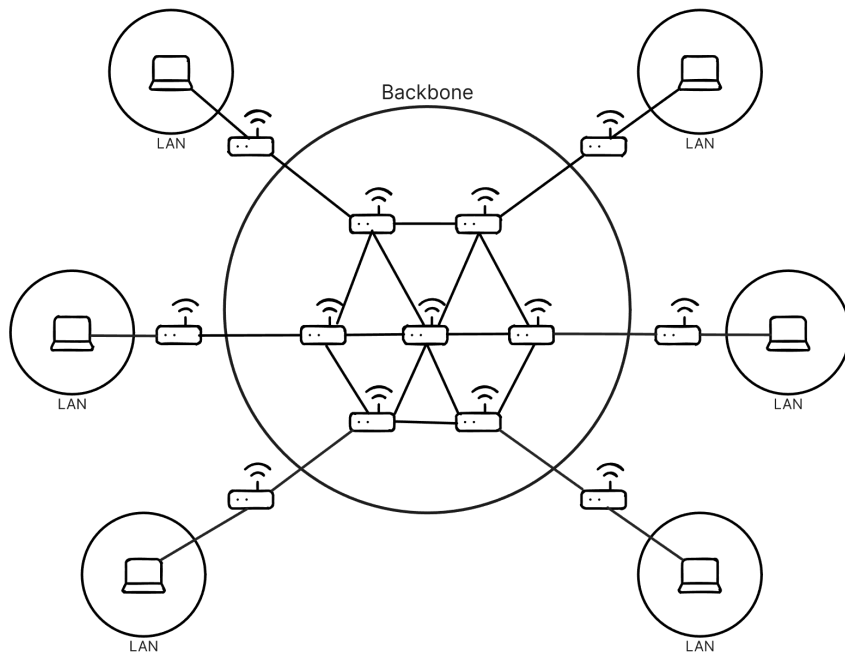


Figura 3: Intercollegamento di LAN

Nella maggior parte delle volte le connessioni tra i router all'interno della backbone sono cablate, di solito tramite fibre ottiche, soltanto in rari casi si usano connessioni wireless.

2.1.1 Organizzazione del Backbone

Il backbone è composto da diverse reti che appartengono a diverse organizzazioni permettendo di creare diverse interconnessioni tra le reti. Queste organizzazioni si chiamano **Internet Service Provider** (ISP). Gli ISP hanno diversi livelli:

1. **Livello 1:** Hanno una connessione internazionale e quindi sono in grado di comunicare con tutti gli altri ISP.
2. **Livello 2:** Lavorano a livello nazionale.
3. **Livello 3:** Lavorano a livello locale.

Gli ISP di livello 1 sono collegati tra di loro per permettere la comunicazione tra ISP di livello 1 diversi. Anche gli ISP di livello più basso permettono la comunicazione tra di loro o tra gli ISP di livello superiore, tutto questo grazie ad accordi commerciali tra le varie organizzazioni.

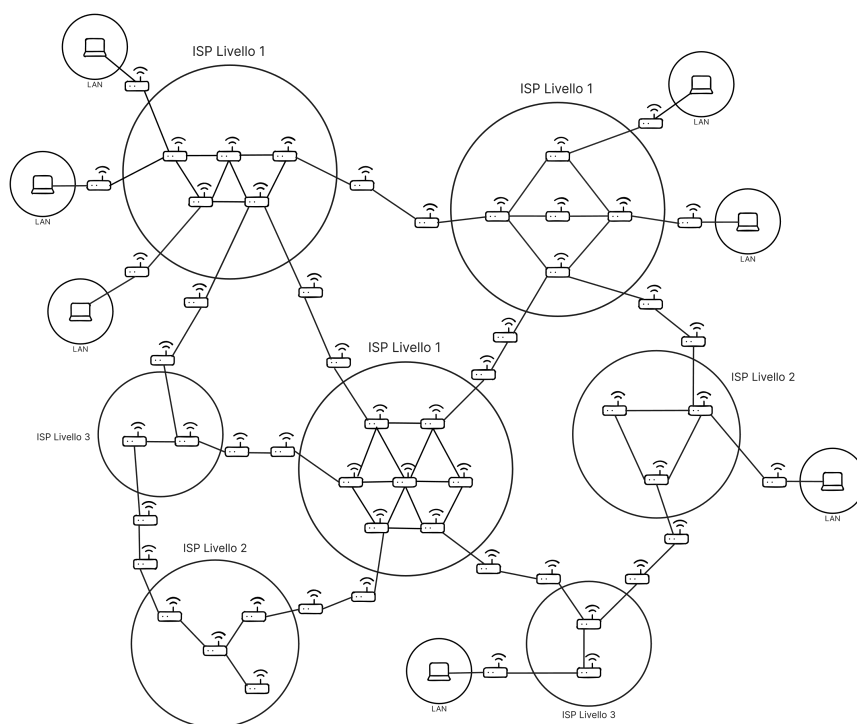


Figura 4: Livelli di ISP

Internet è la **Rete delle reti**, cioè è la rete che collega tutti gli ISP tra di loro ed è un organizzazione gerarchica, cioè è sufficiente creare collegamenti con un sottoinsieme di ISP operanti sul territorio per permettere il collegamento a tutta la rete.

Di conseguenza, per raggiungere un utente, in genere, si segue un percorso gerarchico. Un esempio è la rete stradale, dove per raggiungere una città si seguono le strade principali e poi si scende in quelle secondarie.

La scelta del percorso segue criteri basati su distanza e tempo.

3 Modalità di comunicazione

La gestione del trasporto dei messaggi è gestita dalla rete, però con che modalità trasferisco l'informazione tra 2 utenti?

3.1 Reti a commutazione di circuito

È la modalità di commutazione che è stata utilizzata per la prima volta.

In questa modalità le risorse (capacità del canale di trasmissione) vengono riservate **end-to-end** per la comunicazione, cioè viene letteralmente riservato un circuito che viene utilizzato dai 2 utenti.

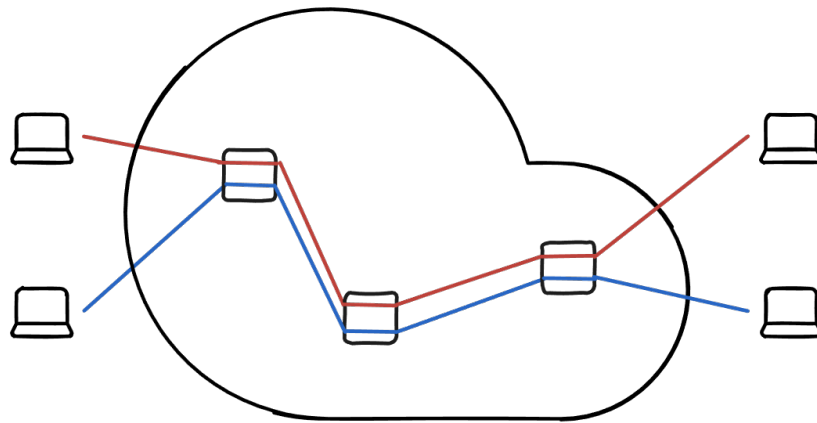


Figura 5: Commutazione di circuito

Ogni canale è completamente dedicato alla comunicazione tra i 2 utenti, quindi se più utenti vogliono comunicare tra di loro, bisogna riservare altre risorse.

3.1.1 Vantaggi

- Risorse dedicate
- Ritardo deterministico

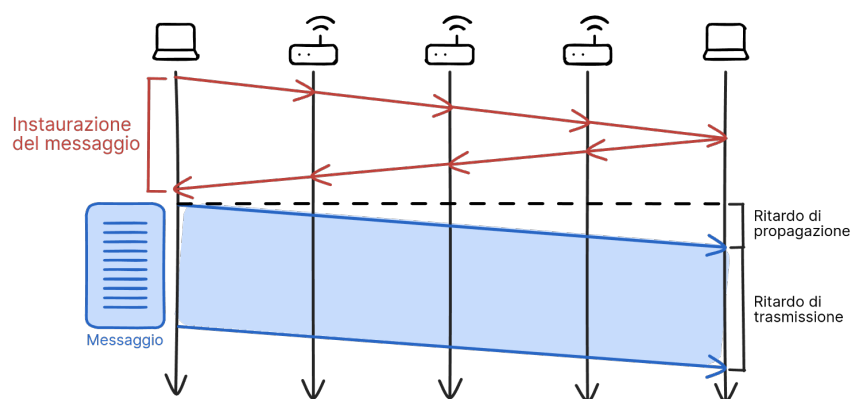


Figura 6: Ritardo

- **Ritardo di trasmissione:** Tempo necessario per trasmettere il messaggio
- **Ritardo di propagazione:** Tempo necessario per trasmettere il messaggio da un nodo all'altro

Se il messaggio è grande $L \text{ bit}$ e il canale riservato è di $B \text{ bit/s}$, allora il tempo di trasmissione sarà:

$$T = \frac{L}{B}$$

Il ritardo di trasmissione e di propagazione è deterministico, perchè dato il circuito di trasmissione, il tempo di trasmissione è noto.

3.1.2 Svantaggi

Nel corso di utilizzo sporadico si ha uno spreco di risorse, perchè il circuito viene riservato per tutta la durata della comunicazione, anche se i 2 utenti non stanno comunicando.

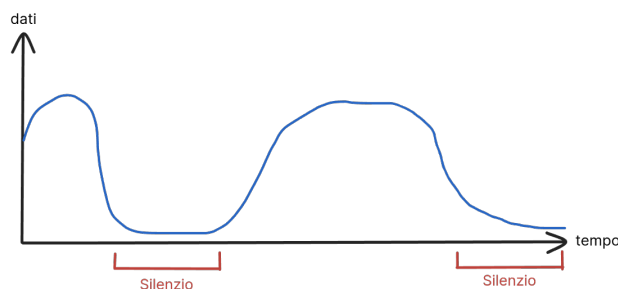


Figura 7: Spreco di risorse

3.2 Reti a commutazione di pacchetto

È la modalità di commutazione più utilizzata al giorno d'oggi.

L'informazione (messaggio) viene suddivisa in **pacchetti** e ad ogni pacchetto viene aggiunto un **header** per permettere:

- La consegna del pacchetto stesso
- La ricostruzione del messaggio

Il messaggio è l'informazione da trasferire, mentre il pacchetto è una porzione del messaggio stesso.

Il messaggio prima della trasmissione viene separato in unità più piccole e a queste unità viene aggiunta un'intestazione che serve a rendere le unità indipendenti per poterle trasmettere in modo indipendente. L'intestazione permette la consegna del pacchetto perchè contiene la destinazione del pacchetto e la ricostruzione del messaggio perchè contiene il numero di sequenza del pacchetto.

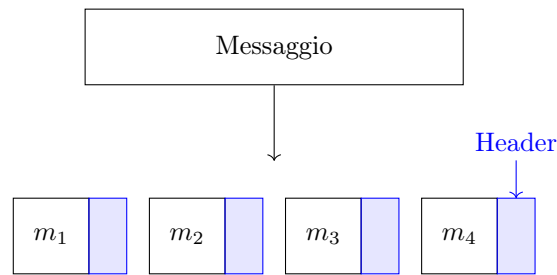


Figura 8: Messaggio e pacchetti

I pacchetti vengono salvati all'interno di un **buffer**, cioè una memoria temporanea, in attesa di essere trasmessi. Man mano che i pacchetti vengono inviati vengono accumulati nel buffer dei router e questo avviene per qualsiasi collegamento.

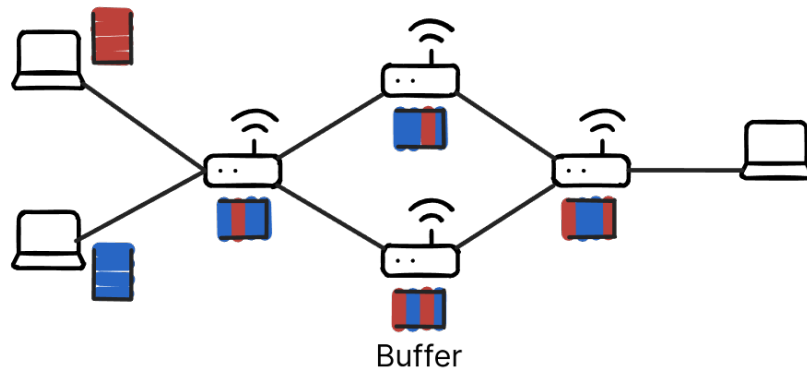


Figura 9: Rappresentazione del buffer

I pacchetti possono arrivare in ordine diverso rispetto a quello di trasmissione, però grazie all'header è possibile ricostruire il messaggio originale.

3.2.1 Vantaggi

- Utilizza le risorse solo quando ci sono pacchetti da trasmettere e questo viene chiamato
- **Multiplexazione statistica**, cioè utilizzo lo stesso canale per trasmettere più pacchetti di utenti diversi.

3.2.2 Svantaggi

- **Potenziale perdita dei pacchetti**: La memoria dei buffer ha una capacità finita, quindi se il tasso di ricezione dei pacchetti è superiore al tasso di smaltimento del buffer, esso inizia a riempirsi. Le perdite aumentano la complessità di gestione della rete.

- Ritardi aumentati

I router prima di trasmettere i pacchetti, deve aspettare di ricevere tutti i pacchetti. Questo si chiama **store & forward**. Di conseguenza più aumentano i router, più aumenta il ritardo di trasmissione.

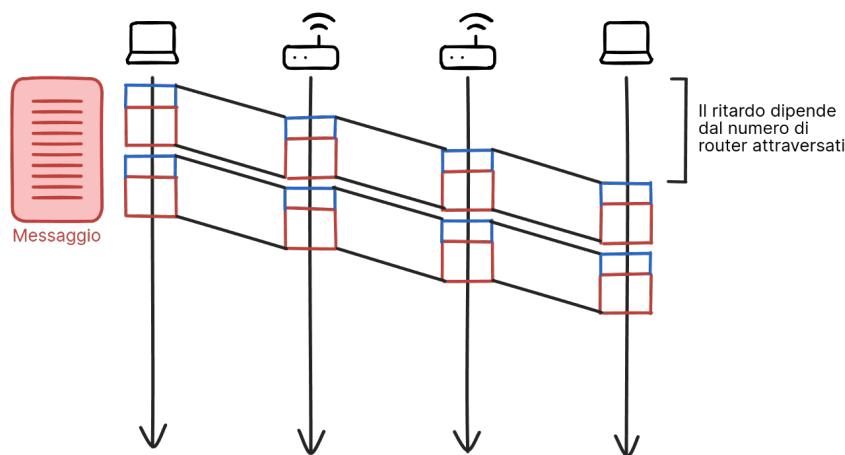


Figura 10: Ritardo di trasmissione dei pacchetti

4 Ritardi di trasmissione

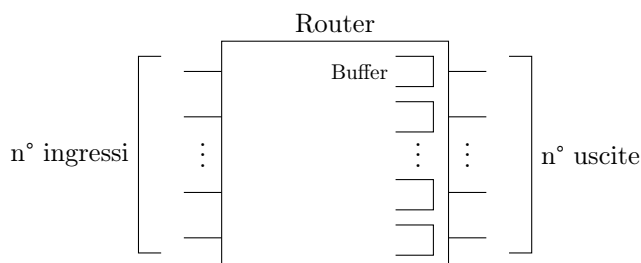


Figura 11: Struttura di un router

Su un singolo router le componenti principali del ritardo sono:

- **Ritardo di elaborazione al nodo:** Tempo necessario per elaborare il pacchetto.
- **Ritardo di accodamento:** È il tempo speso nel buffer prima che il pacchetto venga trasmesso ed è la componente principale tra tutti i ritardi. ($\frac{L}{B}$)
- **Ritardo di trasmissione:** Tempo necessario per trasmettere il pacchetto.
- **Ritardo di propagazione:** Tempo necessario per trasmettere il pacchetto da un nodo all'altro.

4.1 Ordine di grandezza

Dipende dalla distanza e dalla velocità di trasmissione del collegamento. La distanza si distingue in:

- **Locale:** $< 10ms$
- **Internazionale:** $20 - 40ms$
- **Intercontinentale:** $> 100ms$

4.2 Strumenti per calcolare il ritardo end-to-end

4.2.1 Ping

Dati 2 utenti in 2 LAN diverse, il ping manda un pacchetto all'utente di destinazione e l'utente che lo ha mandato prima o poi riceverà un messaggio di risposta (**echo reply**). Il tempo che passa tra l'invio del pacchetto e la ricezione del messaggio di risposta è il ritardo end-to-end.

Non si può sapere se il ritardo è asimmetrico o no, cioè se il ritardo di andata è uguale al ritardo di ritorno, ma si può soltanto calcolare il ritardo totale.

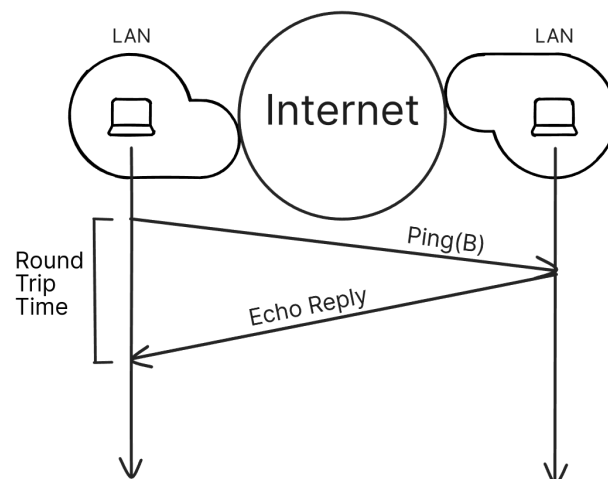


Figura 12: Ping

Se si esegue il comando `ping` da un terminale si riceve il seguente output:

```

ping www.google.com
PING www.google.com (142.251.209.4): 56(84) bytes of data.
64 bytes from mil04s50-in-f4.1e100.net (142.251.209.4): icmp_seq=1 ttl=115 time=15.2 ms
64 bytes from mil04s50-in-f4.1e100.net (142.251.209.4): icmp_seq=2 ttl=115 time=15.4 ms
64 bytes from mil04s50-in-f4.1e100.net (142.251.209.4): icmp_seq=3 ttl=115 time=15.4 ms
64 bytes from mil04s50-in-f4.1e100.net (142.251.209.4): icmp_seq=4 ttl=115 time=15.0 ms
^C
--- www.google.com ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3006ms
rtt min/avg/max/mdev = 14.964/15.221/15.393/0.171 ms

```

Figura 13: Output di ping

1. Viene rieseguito il ping facendo riferimento al **server fisico**
2. Tra parentesi viene rappresentato l'indirizzo che identifica il server, chiamato **indirizzo IP**
3. Alla fine c'è il tempo di risposta del server

4.2.2 Traceroute

Vengono mandati 3 messaggi al primo router e si calcolano i tempi di risposta tra il primo utente e il primo router, poi viene fatta la stessa cosa con i seguenti router fino ad arrivare all'utente di destinazione.

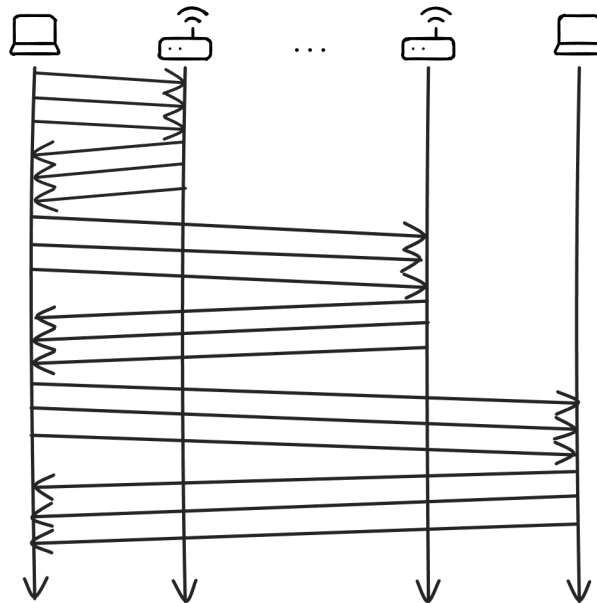


Figura 14: Traceroute

Se si esegue il comando **traceroute** da un terminale si riceve il seguente output:

```

traceroute -4 www.uv.es
traceroute to www.uv.es (147.156.200.249), 30 hops max, 60 byte packets
 1: modentim.homenet.telecomitalia.it (192.168.1.1) 7.589 ms 7.476 ms 9.427 ms
 2: * * *
 3: 172.17.121.114 (172.17.121.114) 59.788 ms 172.17.121.110 (172.17.121.110) 59.672 ms 172.17.121.114 (172.17.121.114) 59.637 ms
 4: 172.17.120.136 (172.17.120.136) 59.680 ms 59.564 ms 172.17.120.134 (172.17.120.134) 59.526 ms
 5: 172.19.184.52 (172.19.184.52) 61.473 ms 172.19.184.50 (172.19.184.50) 62.829 ms 172.19.184.54 (172.19.184.54) 61.404 ms
 6: 172.19.177.62 (172.19.177.62) 61.346 ms 50.631 ms 50.538 ms
 7: be209.milano26.mil.seabone.net (195.22.192.144) 56.724 ms 51.451 ms 195.22.205.116 (195.22.205.116) 51.375 ms
 8: 185.100.113.147 (185.100.113.147) 79.754 ms 185.100.113.145 (185.100.113.145) 81.267 ms 81.217 ms
 9: nl-ams.nordu.net (80.249.209.203) 79.687 ms 67.327 ms 73.148 ms
10: 213.46.175.38 (213.46.175.38) 79.312 ms 78.287 ms 79.858 ms
11: ndn-gw.mx1.lon.uk.geant.net (109.185.102.90) 78.147 ms 71.706 ms 77.514 ms
12: lag-1-0.rt0.lon.uk.geant.net (62.40.98.60) 75.712 ms 78.651 ms 72.774 ms
13: lag-2-0.rt0.lon2.uk.geant.net (62.40.98.65) 68.119 ms 68.000 ms 66.487 ms
14: lag-8-0.rt0.par.fr.geant.net (62.40.98.107) 66.376 ms 66.318 ms 66.267 ms
15: ae4-0.rtl.bil.es.geant.net (62.48.98.222) 69.157 ms 71.086 ms 64.905 ms
16: rediris-ias-geant.bil.es.geant.net (83.97.90.19) 46.398 ms 51.586 ms 53.010 ms
17: ehv-rt2.ethtrunk5.ciemat.rt2.mad.red.rediris.es (130.206.245.5) 52.932 ms 52.877 ms 54.535 ms
18: ciemat-rt2.ethtrunk2.uv.rt2.val.red.rediris.es (130.206.245.122) 62.924 ms 65.269 ms 65.222 ms
19: uv-ppal-router.red.rediris.es (130.206.211.202) 62.778 ms 58.059 ms 62.832 ms
20: quarburquartest.red.uv.es (147.156.200.154) 56.624 ms 55.719 ms 59.404 ms
21: www.uv.es (147.156.200.249) 52.868 ms 59.342 ms 52.681 ms

```

Figura 15: Output di traceroute

1. Indica il numero di router attraversati
2. Stampa i valori di ritardo dei 3 pacchetti trasmessi
3. È il nome logico del router che si sta attraversando, da questo nome si può dedurre la posizione geografica del router e l'ISP a cui appartiene
4. Gli asterischi indicano che il router è stato configurato in modo da ignorare i pacchetti e non mandare alcuna risposta, questo perchè serve soltanto a inoltrare i pacchetti ad un altro router.

4.3 Quantità di dati trasferiti

La quantità di informazioni che si riesce a trasmettere si misura in $\frac{bit}{s}$ e questa informazione dipende dalla capacità di tutti i canali di trasmissione attraversati. Ogni canale avrà una dimensione diversa e si può determinare la banda totale a disposizione (**Throughput**) dal **collo di bottiglia**, cioè dalla minore capacità di trasmissione tra tutti i canali attraversati.

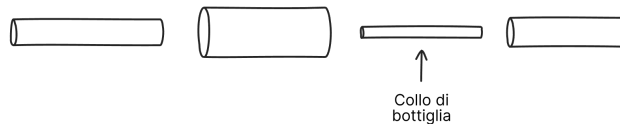


Figura 16: Throughput