

# Reti di Calcolatori

UniVR - Dipartimento di Informatica

**Fabio Irimie**

1° Semestre 2024/2025

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Architetture di rete</b>	<b>3</b>
2.1	Reti locali . . . . .	3
2.1.1	Organizzazione del Backbone . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Modalità di comunicazione</b>	<b>5</b>
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
<b>4</b>	<b>Ritardi di trasmissione</b>	<b>9</b>
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
<b>5</b>	<b>Modello a strati</b>	<b>12</b>
5.1	Stack ISO/OSI . . . . .	13
5.2	Stack TCP/IP . . . . .	13
5.3	Entità coinvolte nella comunicazione . . . . .	14
5.3.1	Identificazione dei processi . . . . .	14
5.3.2	Ottenimento dell'IP e della porta . . . . .	14
<b>6</b>	<b>Indirizzi IP</b>	<b>14</b>
6.1	Suddivisione dei bit . . . . .	15
6.1.1	Identificazione del prefisso e del suffisso . . . . .	15

# 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.

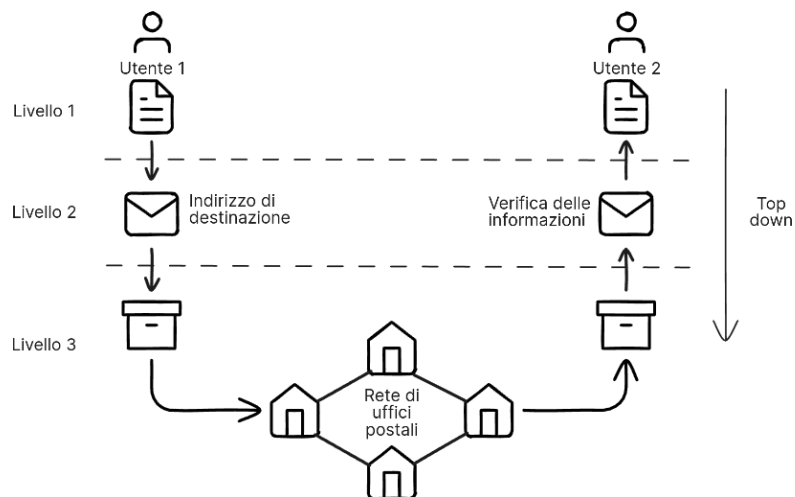


Figura 1: Esempio di comunicazione tra 2 utenti

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.

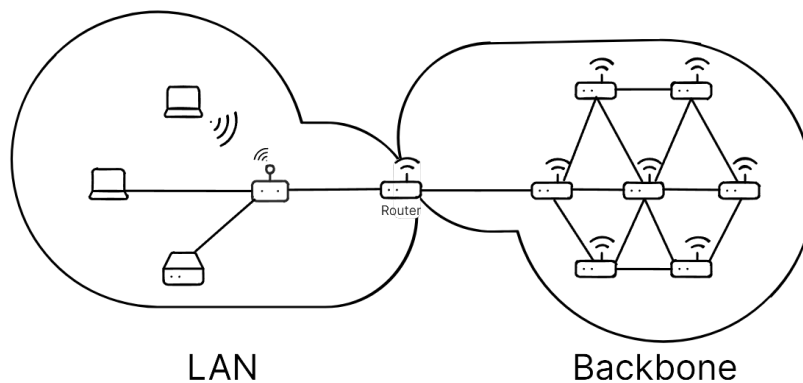


Figura 2: Rete locale

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.

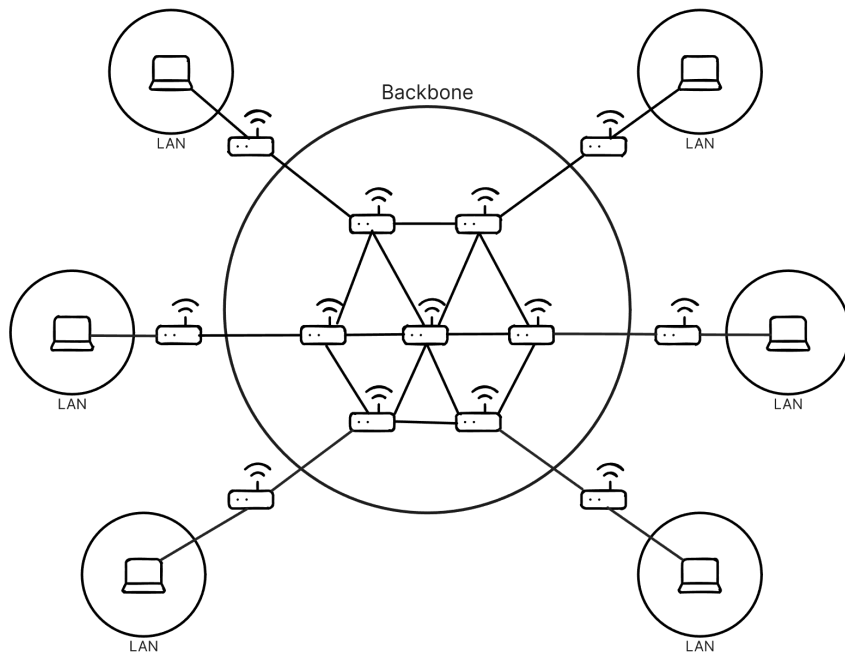


Figura 3: Intercollegamento di LAN

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.

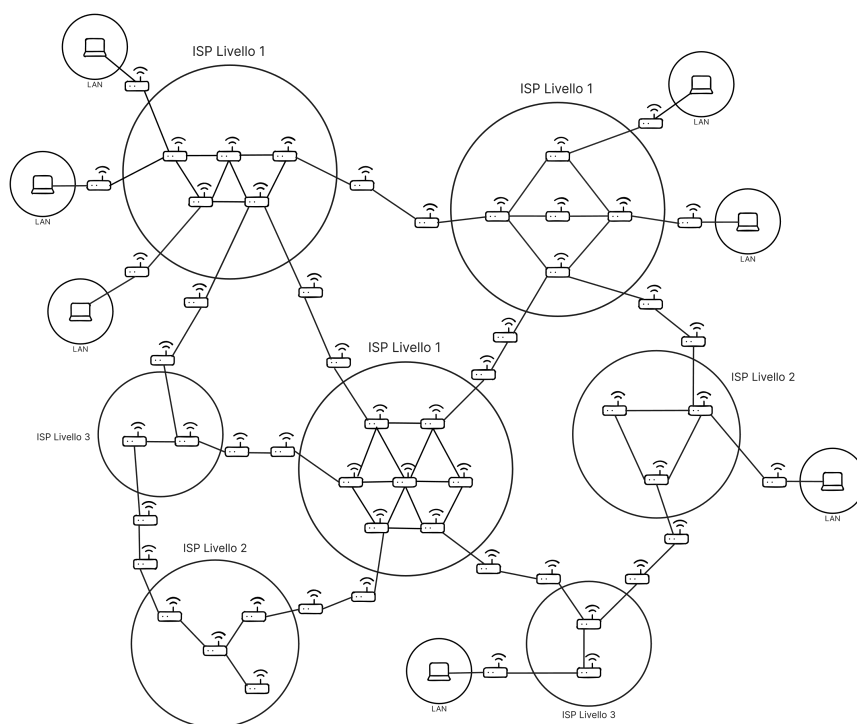


Figura 4: Livelli di ISP

**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.

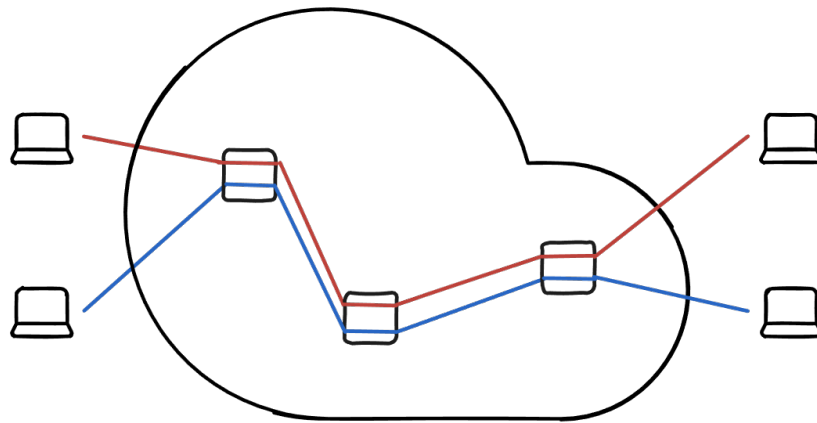


Figura 5: Commutazione di circuito

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

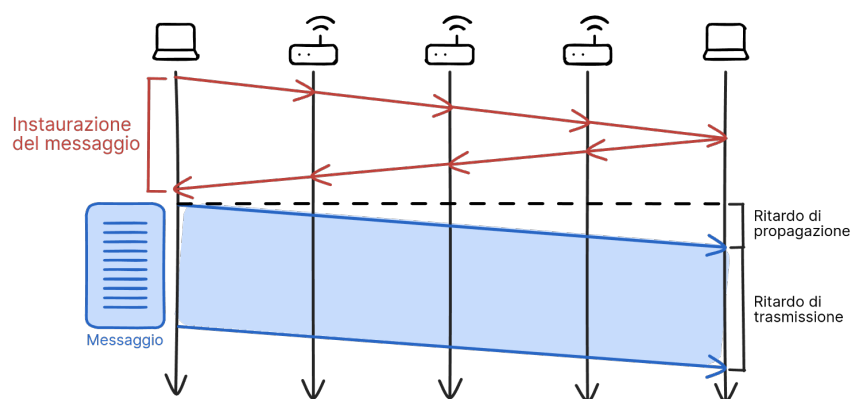


Figura 6: Ritardo

- **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.

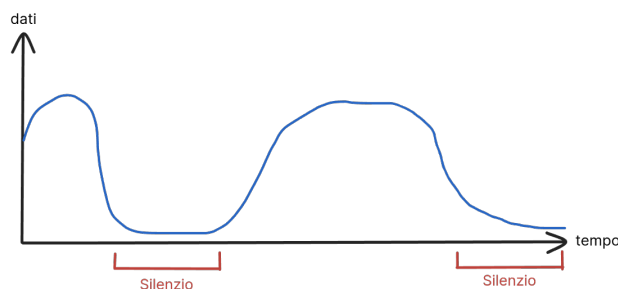


Figura 7: Spreco di risorse

## 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.



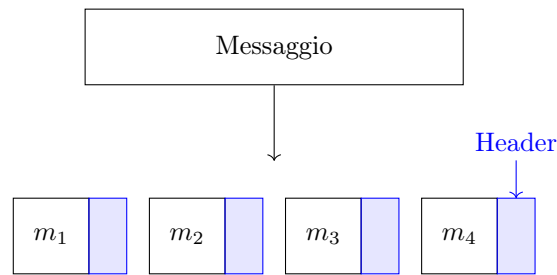


Figura 8: Messaggio e pacchetti

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.

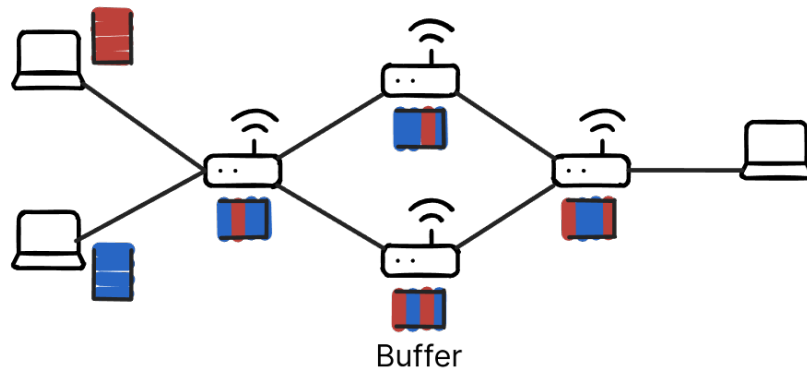


Figura 9: Rappresentazione del buffer

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.

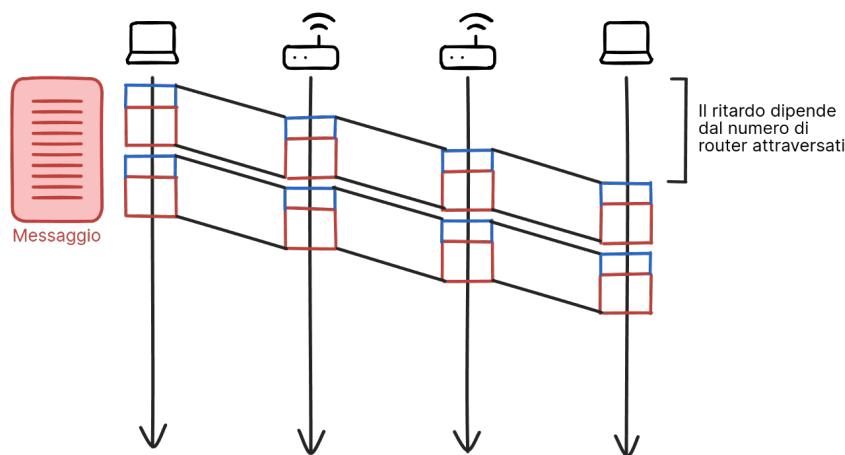


Figura 10: Ritardo di trasmissione dei pacchetti

## 4 Ritardi di trasmissione

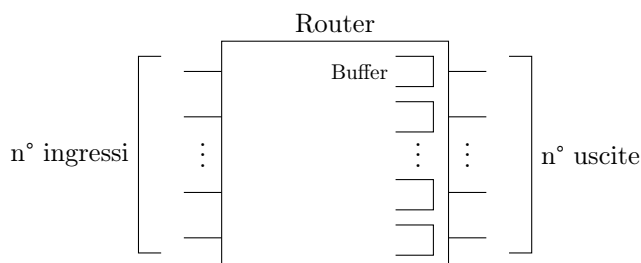


Figura 11: Struttura di un router

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.

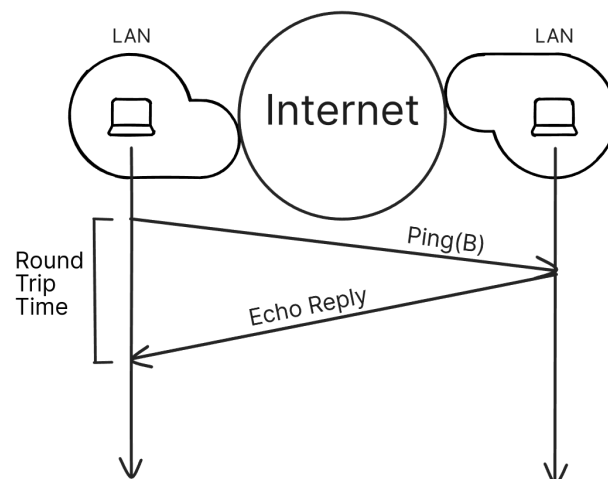


Figura 12: Ping

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.

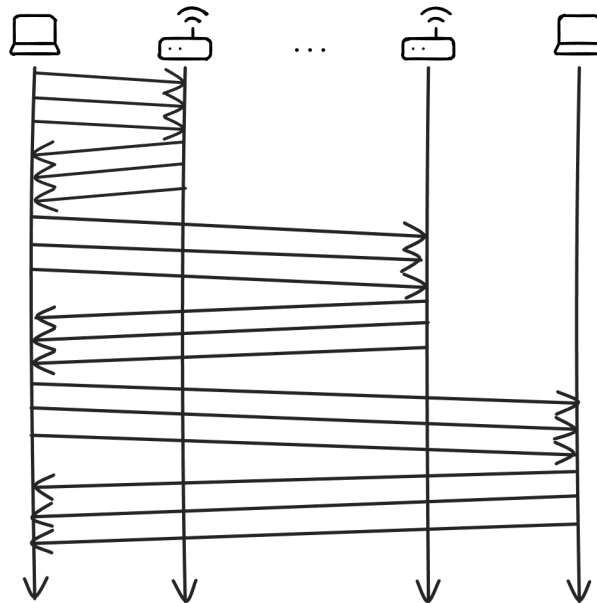


Figura 14: Traceroute

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.

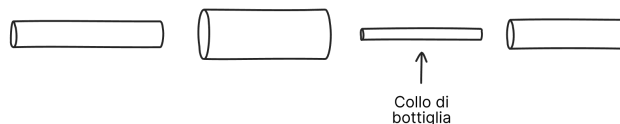


Figura 16: Throughput

## 5 Modello a strati

Il modello a strati affronta la **comunicazione tra due entità** secondo la modalità **divide et impera**. Per scambiare informazioni le due entità devono comunicare. La comunicazione si divide in:

- **Comunicazione logica:** Gestisce le problematiche relative all'informazione

Ad esempio:

- Linguaggio utilizzato

– Come comportarsi nello scambio

- **Comunicazione Fisica:** Come trasferire i diversi bit. Il contenuto dell'informazione non è importante.

Ad ogni **livello** (o strato) viene elaborata parzialmente l'informazione e trasformata. Ogni livello aggiunge un **header** che contiene un'informazione specifica a quel livello, seguendo un **protocollo** (specifico per quel livello).

Ogni livello ha uno o più protocolli associati, e l'insieme dei protocolli di tutti i livelli è chiamato **stack protocollare**.

## 5.1 Stack ISO/OSI

Il modello **ISO/OSI** (International Standard Organization / Open System Interconnection) definisce dei livelli a seconda del sistema:

- **End system:**
  1. Applicazione
  2. Presentazione
  3. Sessione
  4. Trasporto
  5. Rete
  6. Collegamento dati
  7. Fisico
- **Intermediate system:**
  1. Rete
  2. Collegamento dati
  3. Fisico

## 5.2 Stack TCP/IP

Nella pratica (rete Internet) si utilizza lo stack protocollare **TCP/IP**:

- **End system:**
  1. Applicazione
  2. Trasporto
  3. Rete
  4. Collegamento dati
  5. Fisico
- **Intermediate system:**
  1. Rete

2. Collegamento dati
3. Fisico

Il nome deriva dai due principali protocolli utilizzati:

- Protocollo di trasporto: **TCP** (Transport Control Protocol)
- Protocollo di rete: **IP** (Internet Protocol)

### 5.3 Entità coinvolte nella comunicazione

Su un calcolatore possono girare più applicazioni. Ogni applicazione può avere una connessione attiva, quindi ci possono essere più connessioni attive contemporaneamente.

Un applicazione può avere più istanze di comunicazione, cioè più connessioni attive contemporaneamente.

Di conseguenza **l'istanza di un'applicazione** è la vera e propria entità all'interno di una comunicazione. Quando si parla di entità si fa riferimento a uno specifico processo che gira su un calcolatore

#### 5.3.1 Identificazione dei processi

Per identificare un processo servono 2 informazioni:

1. **Indirizzo IP**: Identifica il calcolatore
2. **Porta**: Codice numerico che identifica il processo all'interno del calcolatore

Un flusso di comunicazione è identificato univocamente dalla tupla:

$$(IP_A, IP_B, Porta_A, Porta_B)$$

La porta viene assegnata ad un processo soltanto quando esso inizia a comunicare.

#### 5.3.2 Ottenimento dell'IP e della porta

Queste informazioni sono contenute negli header aggiunti ad ogni livello.

## 6 Indirizzi IP

Sono identificativi **univoci** di un'interfaccia di un host della rete Internet. Un end system può avere soltanto un'interfaccia, ma un router deve avere minimo 2 interfacce per poter permettere la comunicazione tra più entità.

**Esempio 6.1.** Un esempio di indirizzo IP è:

10011101 00011011 0001 0011 0111 1011

Per facilitare la lettura e la gestione degli indirizzi IP si usa la notazione

**decimale puntata.** In questa notazione si considerano blocchi di 8 bit, di conseguenza si avranno 4 blocchi. Ogni blocco viene tradotto in un numero intero decimale compreso tra 0 e 255 e separato da un punto:

157.27.19.123

## 6.1 Suddivisione dei bit

I bit dell'indirizzo IP hanno tutti la stessa importanza?

Prendiamo ad esempio i numeri telefonici della rete fissa:

$\underbrace{0039\ 045\ 802}_{\text{Prefisso}}\ \underbrace{7059}_{\text{Suffisso}}$

- Il prefisso è l'identificativo di una specifica organizzazione
- Il suffisso identifica un utente specifico all'interno dell'organizzazione

Allo stesso modo in un indirizzo IP si ha **prefisso** e **suffisso**

- **Prefisso:** Identifica una rete specifica
- **Suffisso:** Identifica un'interfaccia di un host di una specifica rete

### 6.1.1 Identificazione del prefisso e del suffisso

Nel caso dei numeri telefonici si inserisce una barra per separare il prefisso dal suffisso:

045/7021412

Negli indirizzi IP il numero di bit dedicati al prefisso dipende dalla dimensione della rete ed è indicato da una barra seguita da un numero.

157.27.19.123/16

Significa che i primi 16 bit dell'indirizzo IP sono dedicati al prefisso.