



# Reti

## Pagine dei livelli

Nel corso andremo ad analizzare i vari livelli del sistema TCP/IP:

- Livello applicazione
- Livello trasporto
- Livello di rete
  - Livello del control plane
- Risposte alle domande di preparazione

## Com'è composto Internet

Abbiamo gli **host** (ovvero dispositivi terminali detti end systems su cui girano dei programmi), **sistemi di comunicazioni** (cavi di rame o fibra oppure wireless) che hanno una **bandwidth** (ovvero il numero di bit che possono viaggiare al secondo), **switch di pacchetti** (routers e switches per i pacchetti) ovvero lo scambio di pacchetti e instradamento. Infine gli **ISP** coloro che danno internet.

Internet è una rete di reti, ci sono vari protocolli come TCP, IP, HTTP e molti altri, e ad essi ci sono degli standards come RFC, IETF.

- **RFC**: Request For Comments → sono i documenti che descrivono tali standard e altri aspetti dell'Internet.
- **IETF**: Internet Engineering Task Force → è l'organizzazione responsabile dello sviluppo di standard Internet.



### Definizione Protocollo

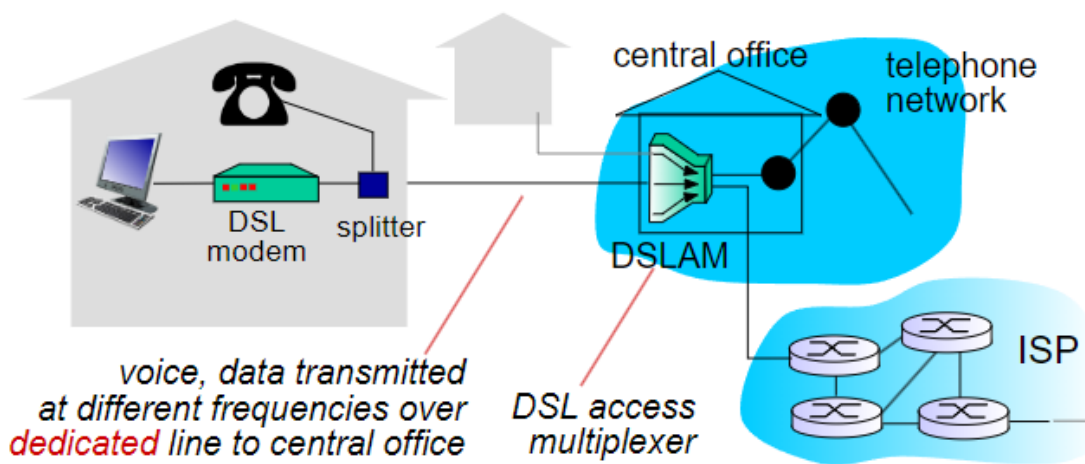
Un protocollo è un **insieme di regole** e **procedure** che definiscono il **modo** in cui avviene la **comunicazione** e lo **scambio di informazioni** tra dispositivi. Il protocollo dichiara il **formato** e l'**ordine dei messaggi**.

Il **CMTS** (Cable Modem Termination System), il **DSLAM** (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) e l'**OLT** (Optical Line Terminal) sono tutti dispositivi utilizzati nelle reti di

comunicazione per fornire servizi di accesso ad Internet ad alta velocità.

- **CMTS:** connessioni via cavo. La connessione avviene su un cavo coassiale (co-assi ovvero un cavo dritto e uno intrecciato ad esso) serviva per la televisione ma sfruttato anche per la connessione.
- **DSLAM:** connessioni DSL. La connessione avviene sul doppino telefonico, il cavo è incrociato perchè così non avvengono interferenze, la velocità varia a seconda del tipo: tipo 5 100Mbps.
- **OLT:** connessioni fibra. Ideati per il trasporto di dati, si basa su impulsi di luce.

Sia il CMTS, DSLAM e OLT si trovano **generalmente** negli ISP.



I mezzi trasmissivi visti sono: cavo coassiale, doppino telefonico e fibra, ma esiste anche un quarto mezzo ovvero le onde radio.

**Fun fact:** in Africa ogni 10 anni viene svolto un esperimento dove si prova a scaricare 4GB di dati e fino al 2019 un piccione con una scheda SD riempita di dati arriva prima della connessione da un punto A ad un punto B.

## Packet switching

Possiamo vedere internet e le reti come una rete di routers che comunicano tra loro, vi è il così detto **packet switching** ovvero l'indirizzamento di un pacchetto verso il giusto destinatario. Gli host inviano pacchetti di dati **lunghi L bits** a un certo **tasso R**.

$$Delay : \frac{L_{bits}}{R_{\frac{bits}{sec}}}$$

## Store and Forward

Se tra A e B ci fosse un router R, dovremmo aspettare che A invii tutto il contenuto di **un pacchetto** ad R e solo una volta che ha tutti i frammenti del pacchetto il router può iniziare l'invio a B.

- Quanto tempo ci impiega A ad inviare un pacchetto a B? Il tempo è calcolato in base numeri di link per il delay, in questo caso abbiamo due link (A-Router, Router-B = 2) quindi  $6ms * 2$ .
- Cosa succede se ci sono M pacchetti?
- Cosa succede se ci sono N link?

$$Totale = \frac{(M + N - 1) * L}{R}$$

Dove **M** è il numeri di pacchetti, **N** il numero di link, **L** la lunghezza del messaggio ed **R** il rate.

## Problemi con il buffering

Se nella rete ci sono velocità molto più elevate rispetto al link di connessione esterno al router, vedremo che ci sono delle tecniche per non far avvenire troppi errori.

## Forwarding table

Questa tabella contiene una sequenza di colonne chiave-valore per la quale una sequenza di bit indica su quale porta vi dovrà uscire l'informazione

Header	Porta
0100	3
0101	2
0111	2
1001	1

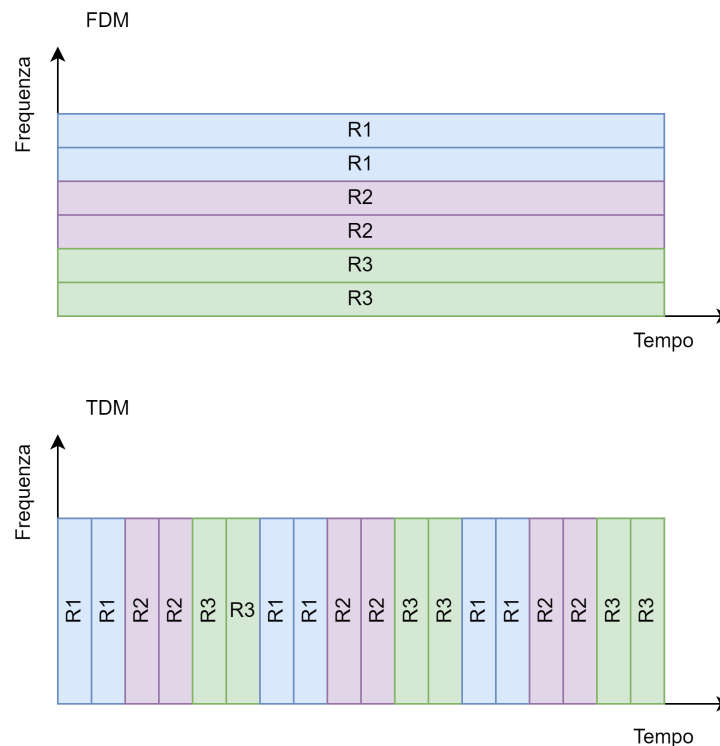
L'**algoritmo di routing** decide come creare la tabella per l'instradamento, la tabella può essere aggiornata e non rimane sempre quella di partenza (ma in realtà l'aggiornamento viene fatto di rado per questo si definiscono **statiche**).

## Commutazione di circuito

In questo caso i dati **non vengono smistati e divisi in pacchetti (alternativa a packet switching)**, viene riservato un canale di comunicazione per far viaggiare i dati in un percorso riservato, durante la trasmissione dei dati, le risorse del circuito sono esclusive per la comunicazione in corso e non vengono condivise con altre comunicazioni.

Come può riservare a un utente la banda di un link?

- **FDM:** Divisione per **frequenza**.
- **TDM:** Divisione per **tempo**.



Nel primo caso si usa meno frequenza ma continua, nel secondo caso si usa tutta ma per un periodo limitato.

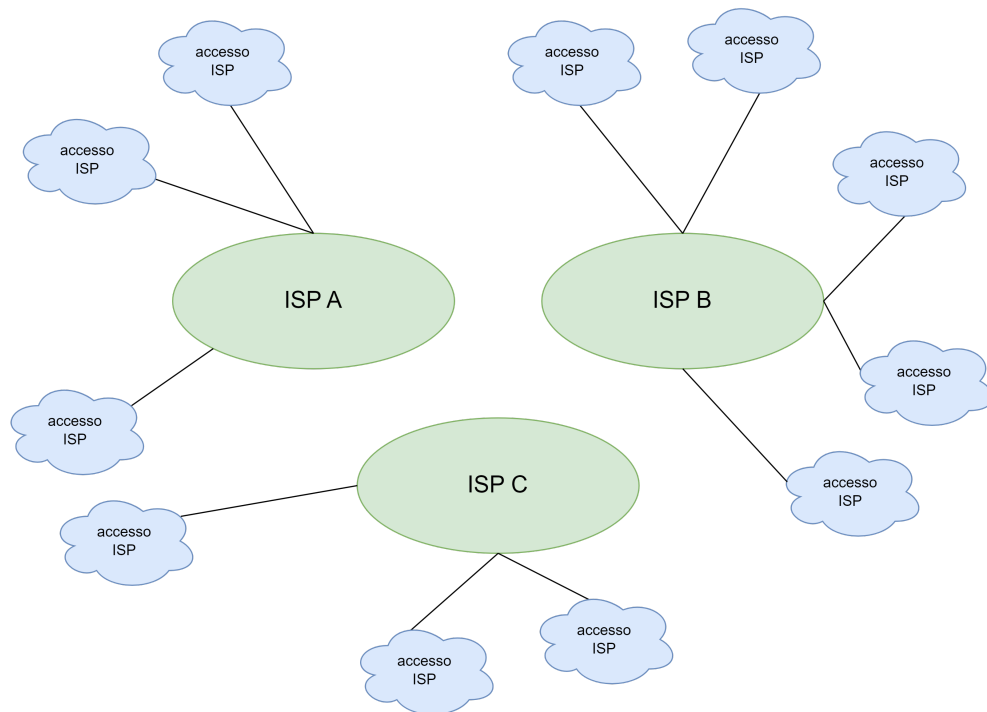
Il **packet switching** è la **scelta migliore**, è più flessibile rispetto alla commutazione di circuito e le risorse vengono divise in maniera più ampia.

## Internet: la rete di reti

La nascita di internet è stata molto turbolenta e per niente ottimizzata, agli esordi in pochi credevano nella sua evoluzione, per questo molti dei protocolli che esistono oggi non sono ottimizzati.

Come possiamo connettere gli ISP tra loro? La risposta è attraverso **ISP globali** attraverso i quali possiamo interconnettere tra loro i nodi più esterni.

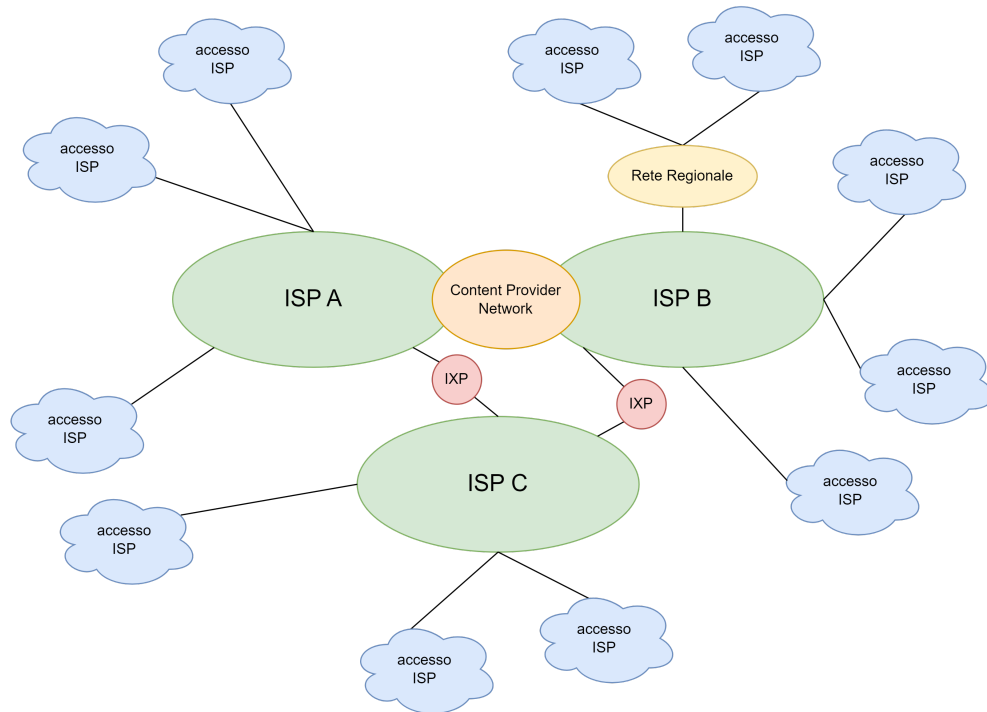
Ne sono nati di diversi diventato così più ISP di livello 1:



Tra tutti gli ISP di livello 1 si sono messi degli **IXP** ovvero Internet Exchange Point per creare collegamenti Peer To Peer (circa 400 nel mondo).

Da questo punto sono nati **ISP regionali**, ad esempio la Cina che ha un ISP regionale, prima che i dati escano dalla Cina sono controllati da questi ISP (nello schema definito come "**Rete Regionale**").

Altri grandi aziende hanno una loro zona privata tra gli ISP di livello 1 dove non possono avere accesso gli ISP di livello 0 come ad esempio Microsoft o Amazon che oltre a fornire sistemi di hosting e di connettività riservano dello spazio interno per servizi da erogare (nello schema definito come **Content Provider Network** ad esempio Google Docs). Lo schema finale è:



Ma gli utenti normali dove si collocano? Noi da casa ci colleghiamo a un **POP** (Point of Presence) che riunisce tutti i cavi della città in cui abitiamo (dipende se la città è grande ce ne sono molteplici) il quale si connette a un **ISP di livello 0**, che a loro volta si collegano agli **ISP regionali**, che a loro volta si collegano agli **ISP di livello 1**. Tuttavia gli ISP di livello 0 non è detto che debbano connettersi agli ISP regionali in modo obbligatorio.

## Esercizio pacchetti

- A invia un pacchetto a B con dimensione 9500 bytes
- Il rate tra A e B è 1Mbps
- La distanza tra A e B è 400Km
- MTU è 1500 bytes (Max Transfer Unit ovvero la dimensione del pacchetto per trasferimento)
- Tecnica Store and Forward
- Quanto ci mette B a ricevere tutto il pacchetto

Time	A	B
0		
		Ricezione dopo 2ms
12	Invio P1	
		Ricezione dopo 14ms
	Invio P2	

Time	A	B
		Ricezione dopo 26ms
	Invio P3	
		Ricezione dopo 38ms
	Invio P4	
		Ricezione dopo 50ms
	Invio P5	
		Ricezione dopo 62ms
	Invio P6	
		Ricezione dopo 74ms
	Invio P7	
		Ricezione dopo 78ms

Come vediamo esiste il così detto **tempo di propagazione**, ovvero il tempo impiegato da un pacchetto per raggiungere la destinazione.

Per inviare 9500 bytes di dati dobbiamo dividerli in **6 pacchetti da 1500 bytes e 1 da 500 bytes**.

$T_p = \frac{d}{v_c}$  dove d è la distanza e  $v_c$  è la velocità della luce, così da ricavare il tempo di propagazione. Ricaviamo così:  $\frac{400Km}{2*10^8 \frac{m}{s}}$  dove la velocità della luce è una costante:  $2 * 10^8 \frac{m}{s}$  teoricamente è 2,8 ma non vogliamo complicarci la vita quindi teniamo 2.

Dobbiamo trasformare 400Km in 400000m ( $400 * 10^3m$ ), così da aggiustare le unità di misura. Ricaviamo così  $200 * 10^5s$  ovvero 2ms.

Ora usiamo il **tempo di trasferimento** (delay) che è:  $\frac{L}{R}$  ovvero  $\frac{12*10^3bit}{1*10^3 \frac{bit}{s}} = 12ms$  per quelli 1500 bytes e  $4ms$  per quello da 500 bytes.

## Passaggi risolutivi

1. Numero di **pacchetti** (dividiamo per 1500 il numero totale)
2. Tempo di **propagazione** (quanto ci impiega tutto il pacchetto ad essere inviato)
3. Tempo di **trasferimento** (tempo da sommare a ogni invio di pacchetto)

Esempio con una distanza maggiore:

Time	A	R1	B
0	Invio P1		
		Ricezione dopo 3ms	
			Ricezione dopo 10ms

## Perdita di dati

Time	A	10Mbps	R	1Mbps	B
0	Invio P1				
	Invio P2	_____	Ricezione P1		
	Invio P3	_____	Ricezione P1	_____	Ricezione P1
	Invio P4	_____	Ricezione P1	_____	Ricezione P1
				_____	Ricezione P1

Il P4 non può essere salvato nel buffer del router R che può contenere al massimo due pacchetti oltre a quello "attivo", quindi avremmo una perdita di 4 perchè non può essere inserito, avremo un **buffer overflow**.

- Se l'invio tra A-R è più **veloce** di R-B allora **avremo una perdita**.
- Se l'invio tra A-R è più **lento** di R-B avremo **momenti di idle**.

*Usa lo schema proposto a lezione è consigliato, non inventarti nulla.*

## Ritardi di coda

Ogni router ha un **buffer** nel quale crea una **coda di pacchetti**, a seconda di come è la situazione il calcolo del delay varia (con "a" che è tempo medio di pacchetti al secondo) e quindi avremo:

- $\lambda/R$  è circa 0 abbiamo una **coda piccola**
- $\lambda/R$  è circa 1 abbiamo una **coda grande**
- $\lambda/R$  è più di 1 abbiamo **molto lavoro in arrivo**

## Perdita di pacchetti

La coda (ovvero il buffer) di un link che precede la destinazione ha una dimensione limitata, nel caso venga riempito avremo una perdita dei pacchetti.

Un tool chiamato si **traceroute** è un comando ping che viene ripetuto su più tratti, manda tre pacchetti per ogni path nei router i, questo router i invia una risposta al mandante così da capire dove avviene il collo di bottiglia.

Viene impostato il così detto **TTL** ovvero **Time To Live** (impostato a 50 solitamente) e a ogni router viene decrementato. Nel **traceroute** viene usato per "scegliere" a quale router accedere, così calcoliamo il **Route Treat Time** ovvero quanto ci mette il pacchetto a tornare.





**Comando:** `tracert nome.host`

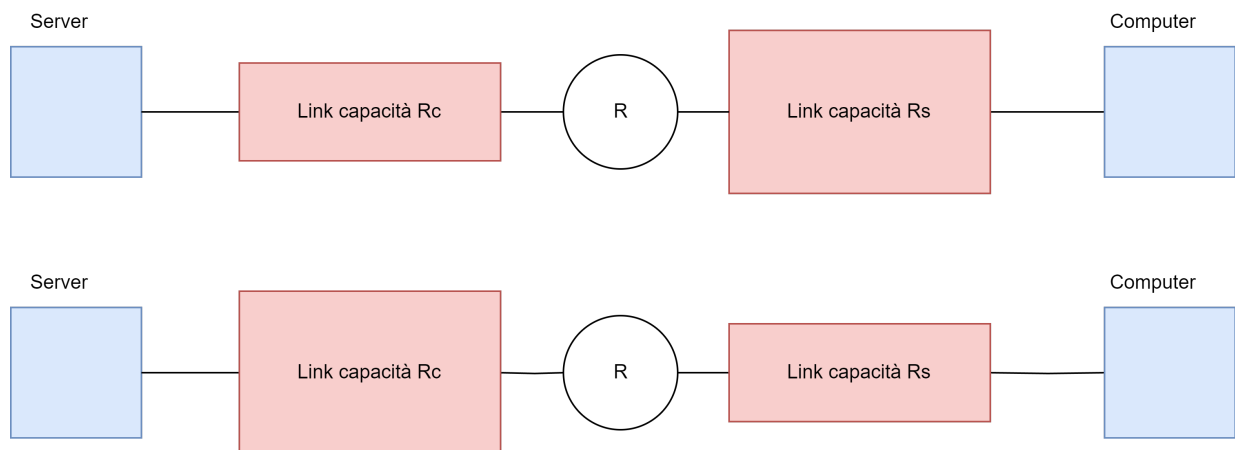
Così riceviamo il tempo impiegato da un pacchetto da un punto a un altro e vediamo anche quanti link attraversa.

## Throughput

Il throughput indica quanto riusciamo a spedire da un punto A a un punto B con due tipi di output:

- **Istantaneo:** calcolo rate a un certo punto del tempo.
- **Medio:** calcolo rate per un determinato lasso di tempo.

Il tubo piccolo è quello che determina la velocità, ovvero quello che “blocca” più il percorso potendo far passare meno dati. Proprio in questo caso viene creato il **collo di bottiglia**:



Quando ci sono questi due casi si genera il collo di bottiglia.

## Livelli dei protocolli

La struttura di tutte le reti è a livelli, ogni livello è indipendente dagli altri per garantire il suo funzionamento ma anche il suo miglioramento e implementazioni future, se ogni livello è un nucleo che comunica possiamo cambiare quello che è interno senza cambiare i restanti.



Internet è suddiviso a **livelli (layers)** i quali sono indipendenti tra loro e ogni livello può essere cambiato (**modularità**) sempre fornendo gli stessi dati output e ricevendo quindi sempre gli stessi in input.

Esempio: quando andiamo in aeroporto facciamo il check-in e poi ci imbarchiamo, ma i due momenti sono distinti e a chi fa il check-in non importa come ci imbarcheremo e viceversa, l'importante è che venga svolto il lavoro.

## Struttura generale

Questa rappresentata è una struttura generale del funzionamento di internet, avremo modo di vederla livello per livello in modo più approfondito.



**Livello applicazione:** ad esempio il browser, con il protocollo HTTP, ci sono anche altri come SMTP, FTP e DNS, all'utente che invia una mail o che usa un browser non interessa quale venga usato.

**Livello trasporto:** ci sono due metodi ovvero TCP e UDP, il primo affidabile ovvero che avviene un rinvio del pacchetto, il secondo no perchè non viene rinviato.

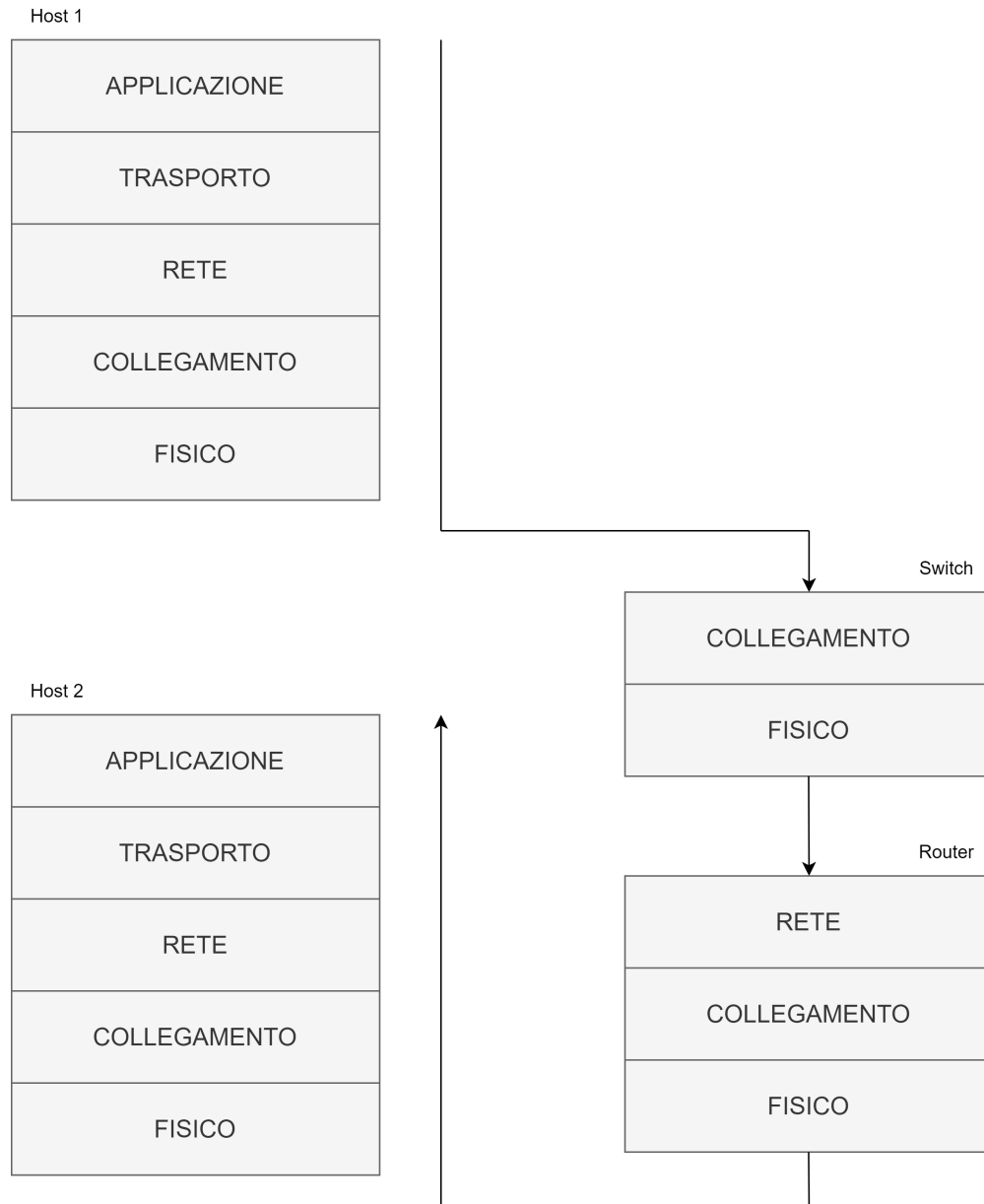
**Livello rete:** chiamato livello di instradamento è in questo campo che viene inserito l'indirizzo del destinatario.

**Livello collegamento:** come avviene il trasferimento attraverso protocolli come Ethernet 802.111.

**Livello fisico:** ovvero dove viaggiano i dati sui vari tipi di collegamento che può essere via cavo (fibra o ADL) o nell'aria (Wireless).

## Incapsulamento

A ogni livello dall'host 1 viene aggiunta una informazione al **segmento del pacchetto** così chiamato perchè non è ancora completo per il suo invio. Viene inserito un **header** a ogni livello per poter passare nella rete in modo sicuro.



Alla risalita il pacchetto viene "scartato" livello per livello così da poter ricevere le informazioni dal destinatario. Una cosa da tenere a mente è che internet è **best effort** ovvero che la garanzia totale non esiste.

■ Livello Applicazione

■ Livello Trasporto

■ Livello di Rete

■ Control Plane

## Esercizi Preparazione