

Università di Roma Tor Vergata
Corso di Laurea triennale in Informatica

Sistemi operativi e reti

A.A. 2016-17

Pietro Frasca

Parte II

Lezione 4 (28)

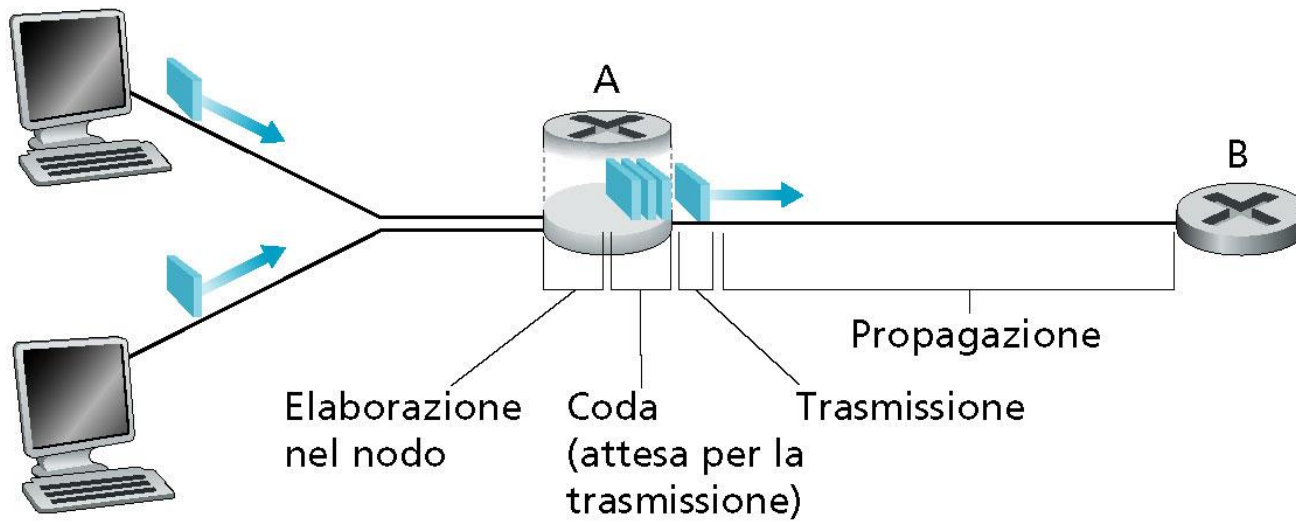
Venerdì 17-03-2017

Ritardi e perdite nelle reti a commutazione di pacchetto

- Quando un pacchetto è trasmesso da un nodo (host o router) al nodo successivo lungo il suo percorso, subisce vari tipi di ritardo. I ritardi sono il **ritardo di elaborazione**, il **ritardo di coda**, il **ritardo di trasmissione** e il **ritardo di propagazione**. La somma di questi ritardi costituisce il **ritardo totale**.

Tipi di ritardo

- In riferimento alla figura seguente, analizziamo i ritardi che si verificano al router A. Tale router è connesso al router B con un link. Nel router A è associata una **coda** (buffer di uscita) a tale link. Quando un pacchetto arriva al router A da un link d'ingresso, il router A esamina la sua intestazione per determinare il link di uscita per il pacchetto, e quindi lo pone nella coda di uscita associata a quel link.



- La coda è gestita con politica FIFO. Un pacchetto in coda può essere trasmesso solo se il precedente pacchetto è stato completamente trasmesso.

Ritardo di elaborazione

- Il ritardo di elaborazione è dovuto principalmente a:
 - Il tempo necessario per **elaborare l'instestazione del pacchetto** e per determinare la linea di uscita dove instradarlo.
 - il tempo necessario per **controllare eventuali errori** nei bit del pacchetto.
- Il ritardo di elaborazione nei router ad alta velocità è genericamente dell'ordine dei microsecondi.
- Dopo l'elaborazione, il pacchetto è posto nella coda associata al link di uscita.

Ritardo di coda

- Dopo essere memorizzato in un buffer di uscita, il pacchetto subisce un ritardo di coda in attesa di essere trasmesso.
- La coda generalmente è gestita con strategia FIFO.
- Il ritardo di coda è molto variabile giacché può assumere valori compresi tra i microsecondi e i millisecondi.
- Se la coda è vuota, il pacchetto non subisce ritardo di coda. Se la coda non è vuota il ritardo di coda di uno specifico pacchetto dipende dal numero di pacchetti (e dalla loro dimensione) che lo precedono in coda.

Ritardo di trasmissione

- E' il tempo necessario per trasmettere il pacchetto nel link di uscita.
- Se indichiamo con **L** (bit) la dimensione del pacchetto, con **B** la velocità di trasmissione (bit/s) del link in uscita, Il ritardo di trasmissione è dato da:

$$\textbf{RitardoTrasmissione} = L/B$$

- Per esempio, il ritardo di trasmissione per un pacchetto di lunghezza $L=1000$ bit che viene inviato su un link a tecnologia Ethernet 100baseT, che ha velocità di trasmissione $B = 100$ Mbit/s è dato da:

$$R_t = 10^3 / 10^8 = 10^{-5} \text{ s} = 10 \text{ } \mu\text{s}$$

Se il pacchetto venisse inviato su un link a tecnologia ethernet 10baseT, che ha una velocità di 10 Mbit/s il ritardo sarebbe:

$$R_t = 10^3 / 10^7 = 10^{-4} \text{ s} = 100 \text{ } \mu\text{s}$$

- In pratica il ritardo di trasmissione è tipicamente dell'ordine dai microsecondi ai millisecondi.

Ritardo di propagazione

- il ritardo di propagazione è dato dal tempo richiesto per la propagazione di un bit tra due nodi adiacenti connessi da un link.
- Il bit si propaga alla **velocità di propagazione** della linea che **dipende dal tipo di mezzo trasmissivo** (ad esempio fibra ottica, cavo coassiale, doppino in rame, etc.) ed è compresa tra $2 \cdot 10^8$ metri/s a poco meno di $3 \cdot 10^8$ metri/s (velocità della luce).
- Il ritardo di propagazione è dato dalla **distanza (D)** tra due nodi adiacenti diviso la **velocità di propagazione (V)**.

$$\text{RitardoPropagazione} = D/V$$

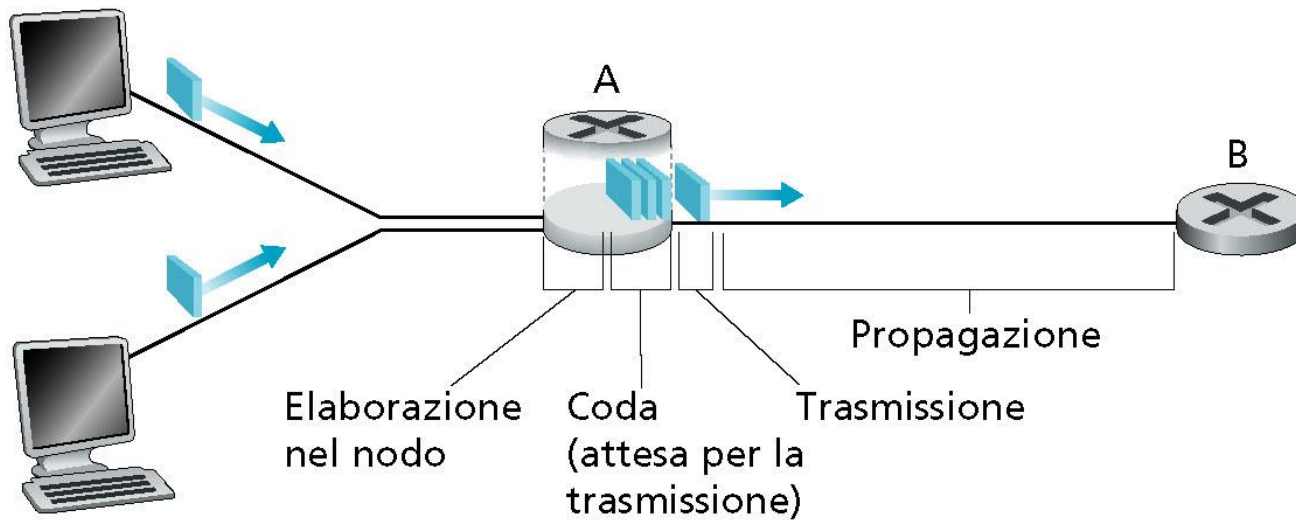
- Nelle reti regionali, il ritardo di propagazione tipico è dell'ordine dei millisecondi.

Ritardo totale del nodo

- Se indichiamo con **Relab**, **Rcoda**, **Rtras**, e **Rprop** i ritardi di elaborazione, di coda, di trasmissione e di propagazione, il ritardo totale del nodo è dato da

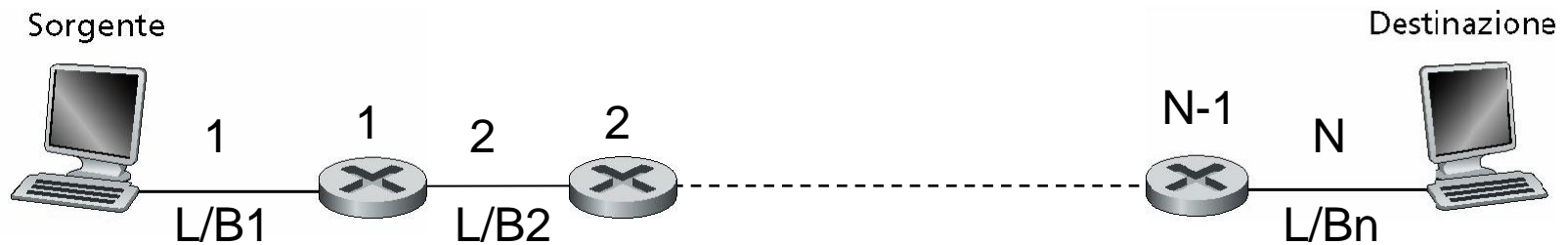
$$\mathbf{R_{nodo} = Relab + Rcoda + Rtras + Rprop}$$

- Il contributo dovuto a questi tipi di ritardo può variare in modo significativo. Per esempio, **Rprop** può essere trascurabile (pochi microsecondi) per un link che collega due router della stessa LAN; ma può essere di centinaia di millisecondi per due router collegati mediante un satellite geostazionario. In modo analogo, **Rtras** può variare molto. Il suo contributo è tipicamente trascurabile nelle LAN che hanno velocità di trasmissione di 100 Mbit/s o superiore; però può essere di centinaia di millisecondi per pacchetti inviati sul link da un modem a 56 kbit/s.
- Il ritardo di elaborazione, **Relab**, è spesso trascurabile.



Ritardo da host a host (punto-punto)

- Abbiamo visto i ritardi che si verificano su un singolo router. Vediamo ora il ritardo dalla sorgente alla destinazione.
- Supponiamo che ci siano **N** link tra gli host sorgente e destinazione.



- I ritardi dei nodi si sommano e forniscono il ritardo **punto-punto**,

$$R_{\text{punto-punto}} = \sum (R_{\text{relab}_i} + R_{\text{tras}_i} + R_{\text{prop}_i} + R_{\text{coda}_i})$$

E' da notare che nel primo link, che unisce la sorgente al primo router, è solo presente il ritardo **Rtras** e **Rprop**

Ritardi e percorsi in Internet

- Per avere una misura del ritardo in una rete di calcolatori, possiamo utilizzare il programma di diagnostica **tracert** (su windows) o **tracert** (su unix) o **tracert** (su windows).
- Tracert si lancia fornendo ad esso come argomento il nome o il numero IP di un host di destinazione, ad esempio **tracert www.google.it**.
- Quando un utente specifica un hostname di destinazione, il programma invia un certo numero di pacchetti speciali verso quella destinazione. I pacchetti per giungere a destinazione passano attraverso una serie di router, tracciando il percorso verso la destinazione. Quando un router riceve uno di questi pacchetti speciali, risponde alla sorgente con un breve messaggio che contiene l'indirizzo IP ed eventualmente il nome del router.
- L'applicazione calcola il tempo di andata e ritorno che i pacchetti speciali impiegano ad arrivare a ciascun router della sequenza e tornare indietro.

```
C:\Documents and Settings\pietro>tracert www.google.it
```

Rilevazione instradamento verso www.l.google.com [74.125.79.104]

su un massimo di 30 punti di passaggio:

1	1 ms	<1 ms	1 ms	160.80.13.1
2	2 ms	2 ms	5 ms	160.80.245.2
3	5 ms	5 ms	7 ms	ru-uniromaII-rt-rm1.rm1.garr.net [193.206.131.77]
4	4 ms	8 ms	7 ms	rt-rm1-rt-rm2-l1.rm2.garr.net [193.206.134.118]
5	32 ms	35 ms	38 ms	so-7-0-3.edge1.Paris1.Level3.net [212.73.207.29]
6	45 ms	48 ms	44 ms	ae-31-53.ebr1.Paris1.Level3.net [4.68.109.94]
7	56 ms	44 ms	38 ms	ae-2.ebr1.London2.Level3.net [4.69.133.94]
8	49 ms	47 ms	54 ms	ae-48-108.ebr2.London2.Level3.net [4.69.141.130]
9	37 ms	39 ms	37 ms	ae-2.ebr1.London1.Level3.net [4.69.132.146]
10	46 ms	36 ms	41 ms	ae-1-100.ebr2.London1.Level3.net [4.69.132.118]
11	53 ms	53 ms	58 ms	ae-2.ebr2.Amsterdam1.Level3.net [4.69.132.134]
12	48 ms	44 ms	46 ms	ae-21-52.car1.Amsterdam1.Level3.net [4.68.120.47]
13	46 ms	50 ms	46 ms	GOOGLE-INC.car1.Amsterdam1.Level3.net [212.72.46.230]
14	48 ms	56 ms	51 ms	GOOGLE-INC.car1.Amsterdam1.Level3.net [212.72.46.230]
15	97 ms	53 ms	51 ms	209.85.248.79
16	56 ms	51 ms	57 ms	72.14.239.199
17	53 ms	54 ms	71 ms	209.85.255.122
18	54 ms	55 ms	54 ms	209.85.255.126
19	50 ms	54 ms	49 ms	ey-in-f104.google.com [74.125.79.104]

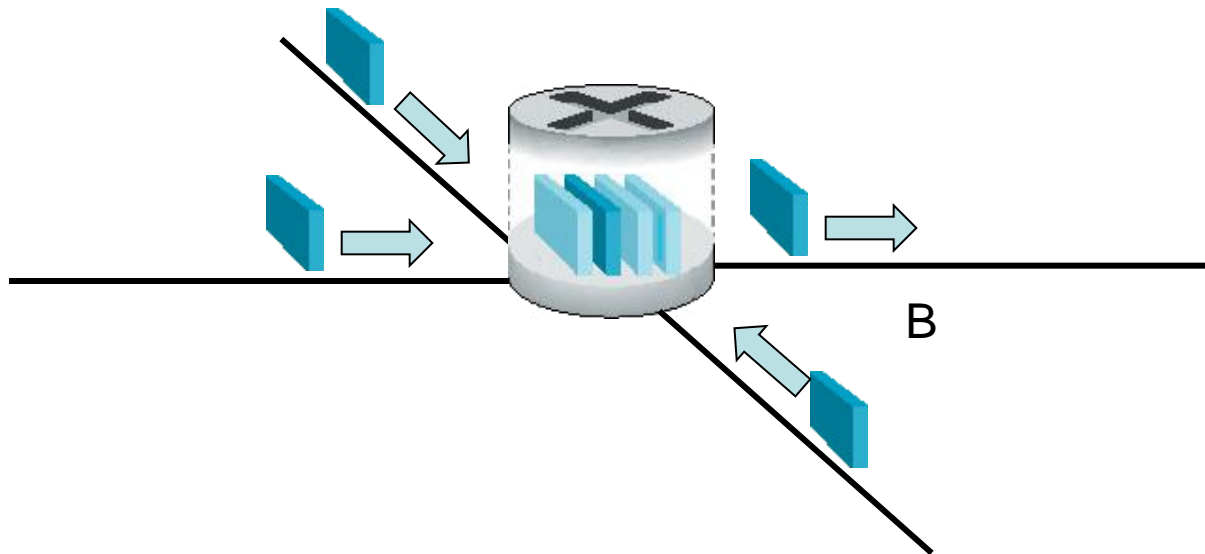
Rilevazione completata.

Intensità del traffico e perdita dei pacchetti

- La componente più critica del ritardo totale è il **ritardo di coda**, il quale, come sperimentato con traceroute, può variare da pacchetto a pacchetto.
- Quindi, per caratterizzare il ritardo di coda si ricorre a **misure statistiche**, come il **valore medio** del ritardo, la sua **varianza** e la probabilità che superi determinate soglie.
- Il ritardo di coda dipende soprattutto dalla velocità di arrivo del traffico al router, dalla velocità di trasmissione del link in uscita e dal tipo di traffico in arrivo, cioè se il traffico arriva periodicamente o a raffiche.

Intensità del traffico

- Indichiamo con **a** il numero medio di pacchetti (pacchetti/s) che sono posti nella coda di un link in uscita. I pacchetti hanno dimensioni diverse, pertanto indichiamo con **L** la dimensione media dei pacchetti. In tal caso, la **velocità media** alla quale i bit arrivano alla coda è **$L \cdot a$** bit/s. Indichiamo con **B** la velocità di trasmissione del link in uscita.

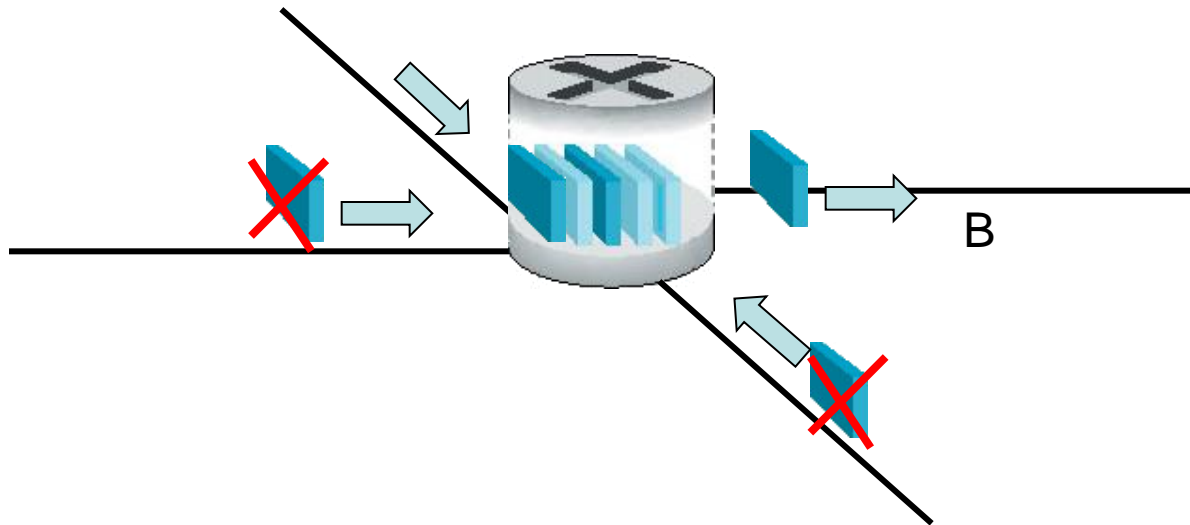


- Supponiamo, inoltre, che la dimensione della coda sia molto grande, in modo che possa contenere un elevato numero di pacchetti.
- Definiamo **intensità del traffico**, il rapporto

$$\textbf{intensitàTraffico} = L \cdot a / B$$

- Questo parametro è utile per avere un'idea, a grandi linee, dell'entità del ritardo di coda.

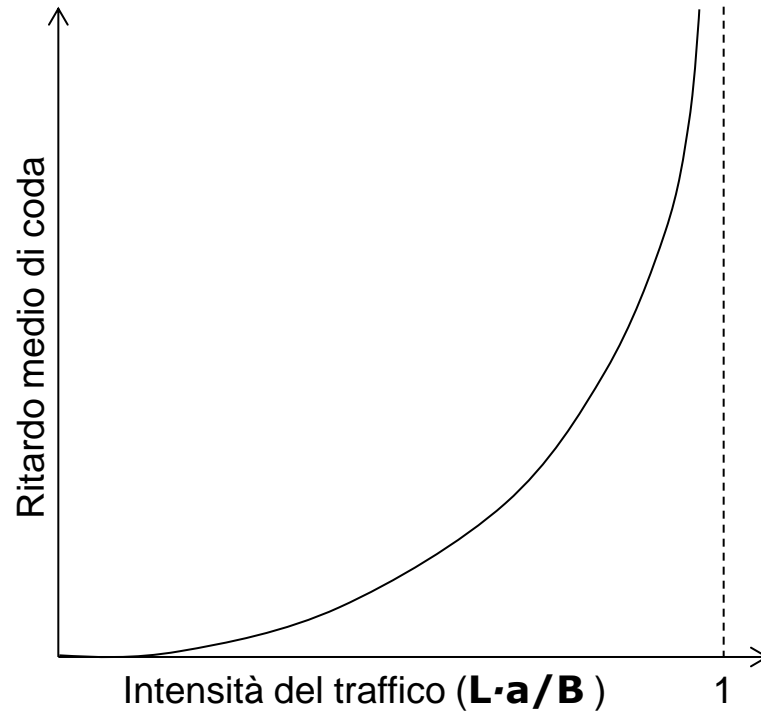
- Se l'intensità del traffico $L \cdot a / B > 1$, (cioè $L \cdot a > B$), significa che la velocità media di arrivo dei bit alla coda supera la velocità con cui i bit escono dalla coda. In questo caso la coda tende a crescere fino a saturare il buffer e la grandezza del ritardo di coda aumenta notevolmente.
- Se un pacchetto in arrivo trova la coda piena, il router non potrà memorizzarlo e quindi andrà perso.
- Un pacchetto perso può essere ritrasmesso se si utilizza un protocollo di comunicazione orientato alla connessione come ad esempio il TCP.



Perdita di pacchetti nel caso di coda piena

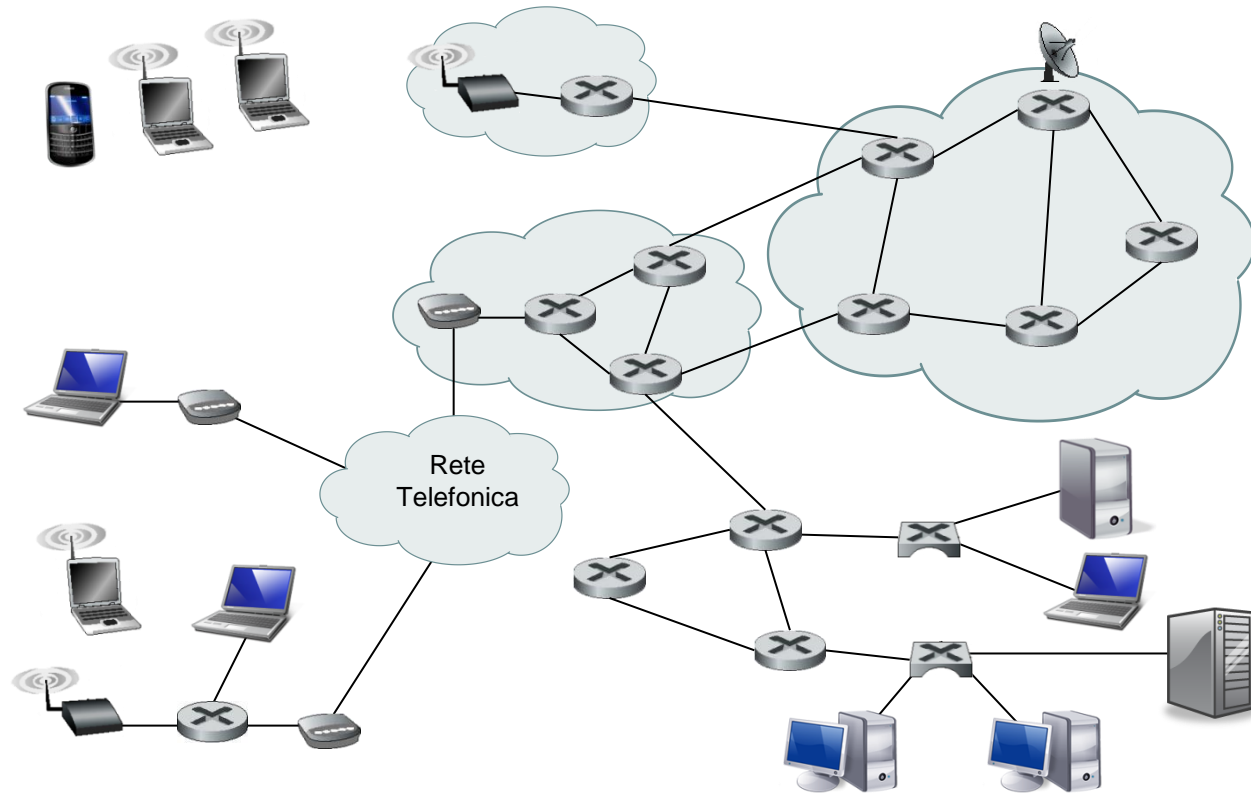
- Se invece $L \cdot a / B \leq 1$ (cioè $L \cdot a < B$). In questo caso, il ritardo di coda dipende dalla **natura del traffico** in arrivo. Per esempio, se i pacchetti arrivano periodicamente, con frequenza di L/B secondi, allora ogni pacchetto troverà la coda vuota e non ci sarà ritardo di coda. Invece, se i pacchetti arrivano a gruppi, ma periodicamente, la media del ritardo di coda sarà ampio.
- Se l'intensità del traffico è molto piccola, $L \cdot a \ll B$, allora i pacchetti in arrivo sono pochi ed è difficile che un pacchetto trovi altri pacchetti in coda. Quindi, il ritardo di coda medio sarà prossimo a zero.
- Se $L \cdot a / B \approx 1$, nei momenti in cui i pacchetti arrivano a gruppi la velocità media in arrivo supera la velocità di trasmissione in uscita e quindi si produrrà una coda che tenderà ad aumentare.

- L'andamento del ritardo di coda medio in funzione dell'intensità del traffico è illustrata nella figura seguente.



Strati protocollari e loro modelli di servizio

- Da quanto fino ad ora detto, Internet è un sistema *molto* complesso, costituita da molti elementi: numerose applicazioni e protocolli, diversi tipi di host e diversi tipi di collegamenti tra essi, router, switch e varie tecnologie di mezzi trasmissivi per la realizzazione delle linee di comunicazione.

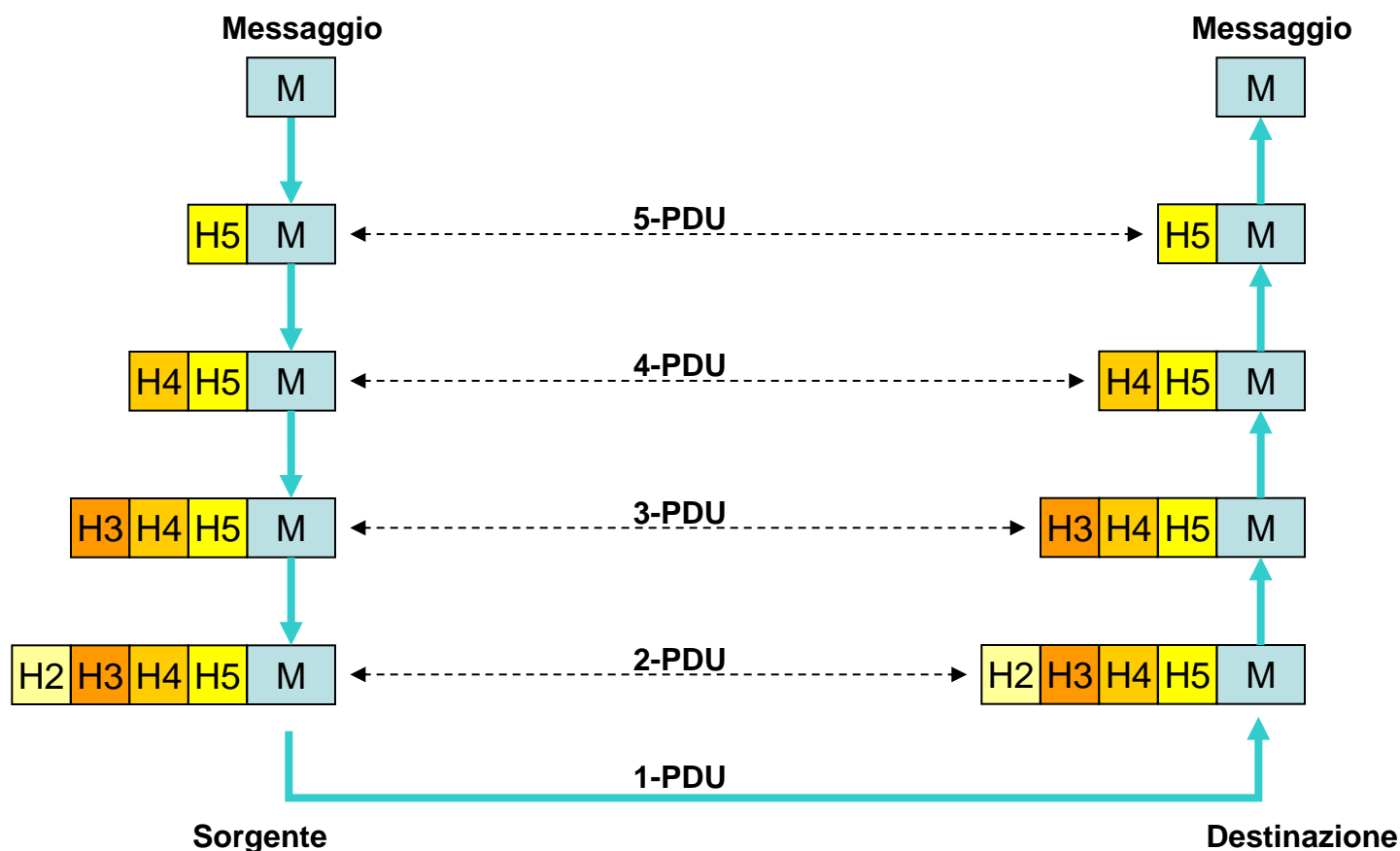


Architettura stratificata

- Per ridurre la complessità di progetto e di realizzazione, i protocolli sono organizzati a **strati** (*layer*) o **livelli**.
- La stratificazione prevede che ogni strato fornisca vari servizi allo strato soprastante.
- Un architettura stratificata consente più facilmente di modificare l'implementazione dei servizi che ciascuno strato mette a disposizione, lasciando inalterata l'implementazione degli altri strati.

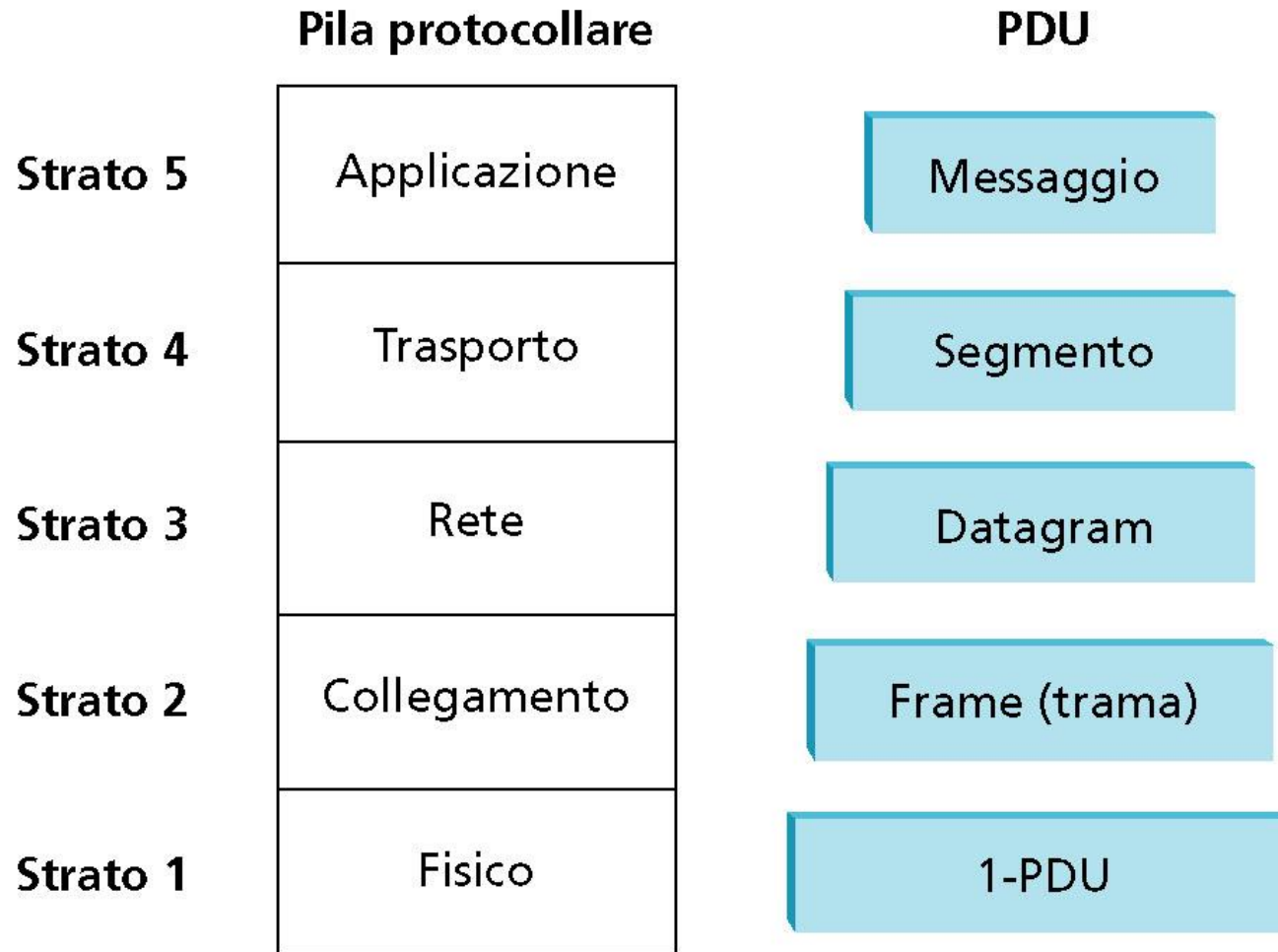


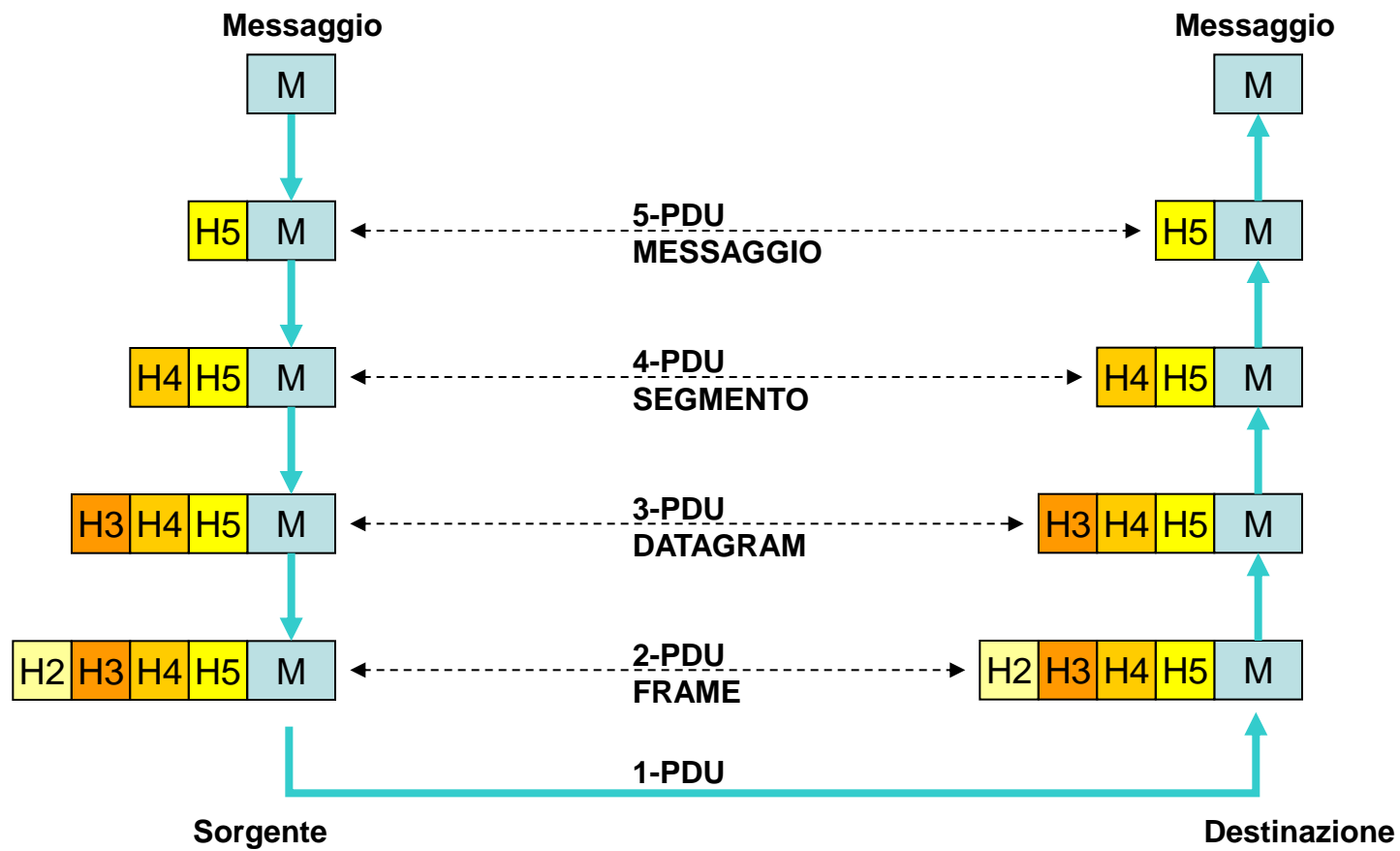
- Un protocollo dello **strato n** è implementato negli host e nei router in due parti che comunicano logicamente tra loro scambiandosi i **messaggi** dello strato n .
- Questi messaggi sono chiamati **n-PDU** (**layer- n Protocol Data Units**) cioè **unità dati del protocollo dello strato n** .
- L'insieme dei protocolli dei vari strati prende il nome di **pila protocollare** (**protocol stack**).

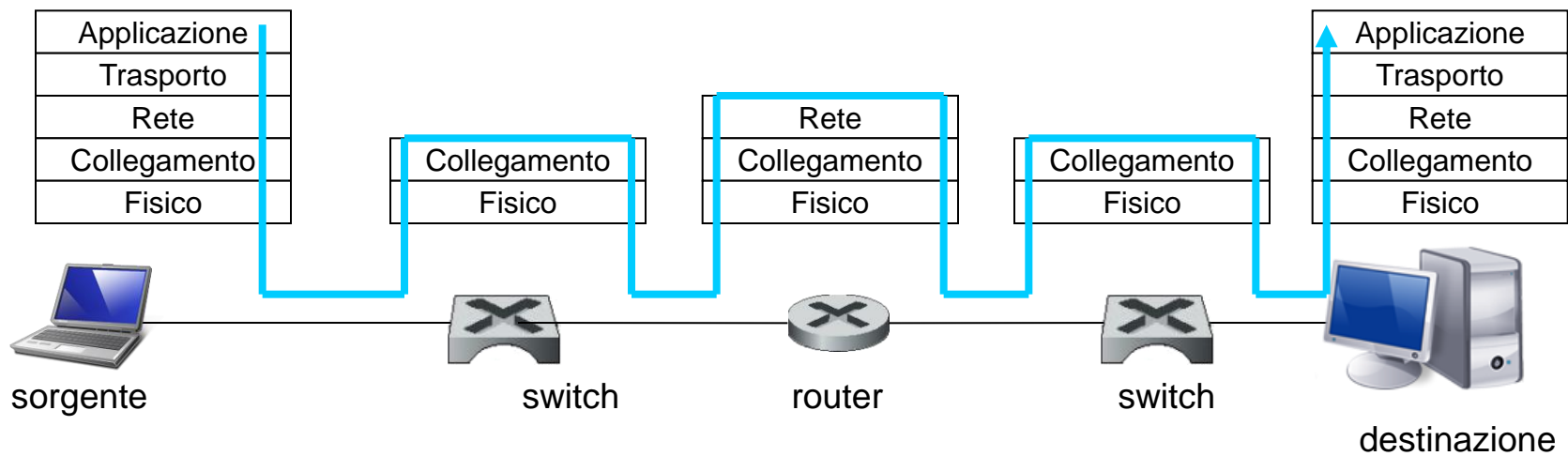


La pila protocollare di Internet

- La pila protocollare di Internet è costituita da **cinque strati: fisico, collegamento, rete, trasporto e applicazione**.
- Invece di usare il termine ***n-PDU***, per ciascuno dei cinque strati, chiameremo le PDU di quattro dei cinque strati con particolari nomi: **frame, datagram, segmento**, e **messaggio**. Lascieremo inalterato il nome dell'unità dati per lo strato fisico, **1-PDU**.
- Uno strato protocollare può essere implementato in software, in hardware o in una combinazione software-hardware. I protocolli dello strato di applicazione e di trasporto sono implementati in software negli host.
- Lo strato fisico e lo strato di collegamento sono in genere implementati in una scheda di rete come ad esempio, in una scheda di rete Ethernet.
- Lo strato di rete è generalmente implementa sia in hardware che in software.



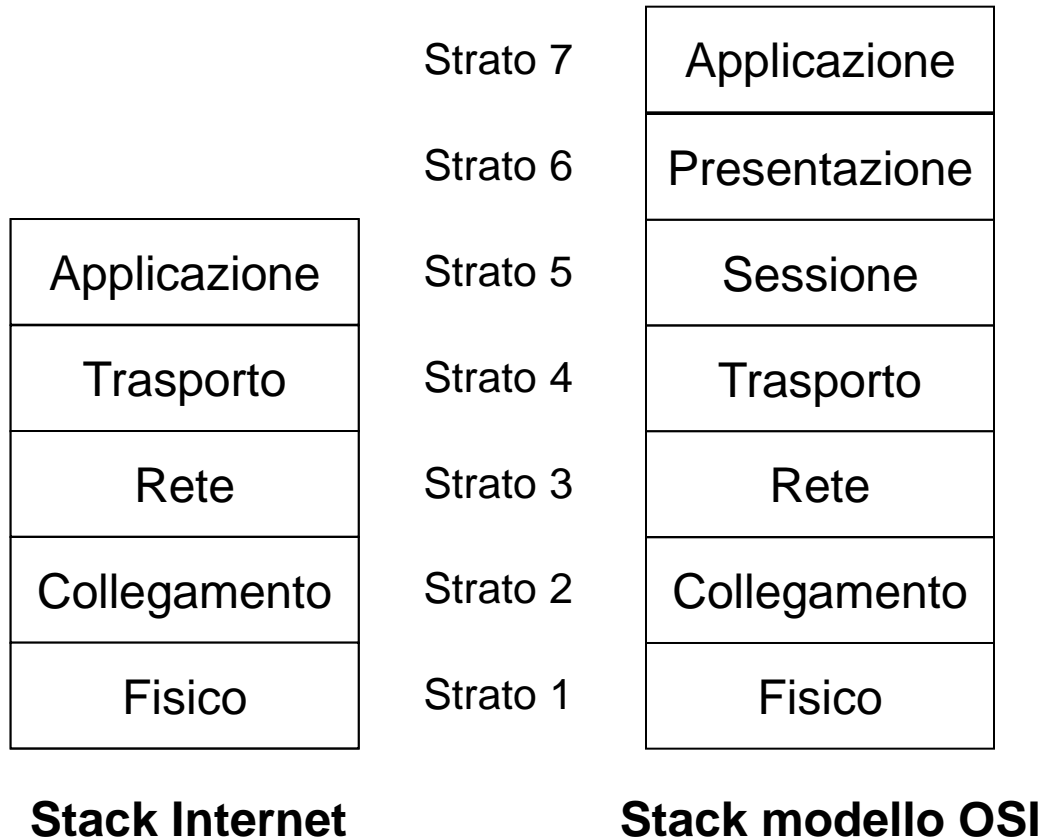




Il modello OSI

- Negli anni '70, l'**International Organization for Standardization (ISO)** propose un modello a sette livelli per lo sviluppo di reti di calcolatori, chiamato **OSI (Open Systems Interconnection)**.
- Il modello OSI fu proposto quando i protocolli dello stack TCP/IP, che sarebbero diventati i protocolli di Internet, erano solo uno dei tanti insiemi di protocolli in via di sviluppo. Altri due importanti stack protocollari del tempo erano DECNET della Digital e SNA della IBM.
- Ciò nonostante, a partire dagli anni '70, furono organizzati molti corsi universitari sul modello OSI a sette livelli. Per via del suo influsso iniziale sulla didattica delle reti, il modello a sette livelli continua a rimanere in alcuni libri di testo e in alcuni corsi professionali.
- I sette livelli del modello OSI, sono: applicazione, presentazione, sessione, trasporto, rete, collegamento e fisico. Le funzionalità di cinque di questi livelli sono simili agli omonimi dello stack TCP/IP.

Lo stack TCP/IP (Internet) e il modello OSI



- Il ruolo del livello di presentazione è fornire servizi che consentono ad applicazioni che vogliono comunicare di interpretare il significato dei dati scambiati. Questi servizi comprendono la compressione, la cifratura e la descrizione e rappresentazione dei dati. Quest'ultimo servizio semplifica alle applicazioni dei problemi riguardo al formato interno dei dati poiché potrebbero essere diversi da un computer a un altro. Il livello di sessione fornisce la delimitazione e la sincronizzazione dello scambio di dati, compresi i mezzi per costruire uno schema di controllo e di recupero degli stessi.
- I servizi dei due livelli OSI, mancanti nello stack di Internet, se ritenuti necessari dagli sviluppatori di applicazioni sono implementati a livello di applicazione.

Gli strati di Internet e i servizi che forniscono

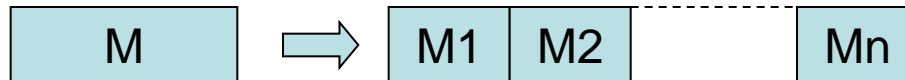
Strato di applicazione

- Lo strato di applicazione consiste in applicazioni di rete.
- Molte applicazioni di rete sono diventate protocolli standard, come l'HTTP utilizzato nel Web, l'SMTP per la posta elettronica e l'FTP per il trasferimento dei file.
- Un applicazione di rete può usare, oltre i servizi dello strato di trasporto, anche i servizi offerti dai protocolli di questo livello. Ad esempio, spesso le applicazioni peer to peer, utilizzano l'HTTP o l'FTP per il trasferimento di file.

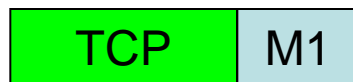


Strato di trasporto

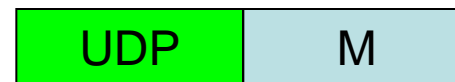
- Lo strato di trasporto fornisce il servizio di trasporto dei messaggi dello strato di applicazione fra le estremità di un'applicazione (comunicazione tra processi remoti).
- I protocolli di trasporto usati in Internet sono il **TCP**, l'**UDP** e l'**SCTP** (che non tratteremo).
- Il TCP fornisce alle applicazioni un servizio orientato alla connessione **affidabile** che garantisce il corretto trasferimento dei messaggi dello strato di applicazione. Fornisce il **controllo del flusso** e il **controllo della congestione**. Il TCP, inoltre, frammenta i messaggi, superiori ad una determinata lunghezza, in segmenti più corti nel lato mittente e li riassembla nella destinazione.



- Il protocollo UDP fornisce alle applicazioni un **servizio senza connessione**, trasmette i dati senza alcuna garanzia.



Segmento TCP



Segmento UDP

Strato di rete

Lo strato di rete è responsabile dell'instradamento dei datagram da un host mittente ad un host destinazione.

- Lo strato di rete ha due componenti principali.
 - **Il protocollo IP** che definisce i campi nel datagram IP e le operazioni che host e router eseguono su questi campi.
 - **vari protocolli di instradamento** che decidono il percorso che i datagram devono seguire fra sorgente e destinazione.
- Come descritto, Internet è una rete di reti, e pertanto in ciascuna rete potrà funzionare un protocollo di instradamento piuttosto che un altro.
- I protocolli dello strato di trasporto di Internet (TCP e UDP) in un host sorgente passano un segmento dello strato di trasporto e un indirizzo di destinazione allo strato IP.



Datagram IP



Datagram IP

- Lo strato di rete fornisce quindi il servizio di instradare il segmento verso la sua destinazione. Quando il pacchetto arriva a destinazione, IP passa il segmento allo strato di trasporto all'interno della destinazione.

Strato di collegamento

Per trasferire un pacchetto da un nodo (host o router) al successivo sul percorso, lo strato di rete utilizza i servizi dello strato di collegamento. In particolare, in ciascun nodo, IP passa il datagramm allo strato di collegamento, che lo invia al nodo successivo lungo il percorso. Arrivato al nodo successivo, lo strato di collegamento passa il datagramm allo strato di rete.

- I servizi forniti dallo strato di collegamento dipendono dallo specifico protocollo dello strato di collegamento utilizzato sul link. Per esempio, alcuni protocolli, come WI-FI, forniscono un trasferimento affidabile dal nodo trasmittente al nodo ricevente mentre altri, come Ethernet, non implementano un servizio di trasferimento affidabile.
- Esempi di tecnologie dello strato di collegamento sono Ethernet e PPP. Poiché spesso i datagramm devono attraversare molti link per passare dalla sorgente alla destinazione, un datagramm può essere gestito da diversi protocolli di collegamento lungo il suo percorso. Per esempio, un datagramm può essere gestito da Ethernet su un link e da PPP sul link successivo.

- IP riceverà servizi differenti da ciascuno dei diversi protocolli dello strato di collegamento.



Frame Ethernet

Strato fisico

Mentre il compito dello strato di collegamento è di trasferire frame da un nodo della rete a quello successivo, il compito dello strato fisico è di trasmettere realmente i segnali fisici corrispondenti ai *bit del frame* da un nodo al successivo. I protocolli in questo strato dipendono dalla tecnologia di trasmissione e dal mezzo trasmissivo del link come ad esempio, doppino e fibre ottiche. Ethernet, ad esempio, ha molti protocolli dello strato fisico: uno per il cavo UTP, un altro per la fibra ottica, uno per il wireless e così via.

Descriveremo i livelli della pila protocollare di Internet seguendo un approccio dall'alto verso il basso, iniziando dallo strato di applicazione e procedendo fino allo strato di collegamento.