

Appunti di Fondamenti di Comunicazioni e Internet

Canale 2 · Reti · Prof. Marco Polverini

Capitolo 5: Architetture a strati e incapsulamento

Autore: Tommaso C.

Appunti tratti dalle lezioni in aula e dal materiale del corso

Argomenti: Architettura a strati · Servizi e SAP · Pila TCP/IP e modello OSI
Applicazione · Trasporto: socket, TCP e UDP · Rete: instradamento e commutazione
Collegamento: punto a punto, bus, stella · Fisico · Incapsulamento e decapsulamento
Switch e router · Multiplazione e demultiplazione

Indice

1	Architettura a strati	1
2	Applicazione e trasporto	2
2.1	Trasporto	3
3	Rete, collegamento e fisico	3
3.1	Collegamento	4
3.2	Fisico	5
4	Incapsulamento	5
4.1	Attraverso uno switch e un router	6
5	Esercizi	8
6	Soluzioni	10

1 Architettura a strati

Definizione – Architettura a strati

In un'**architettura a strati** (o a livelli, *layer*) le funzioni della comunicazione sono divise in **strati** impilati, numerati dal basso. Ogni strato svolge funzioni specifiche e offre **servizi**. Come li realizza è indipendente dagli altri strati e invisibile a loro.

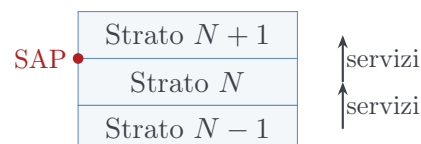
Chi chiede un servizio vuole solo che risponda a uno standard, e non gli interessa come è realizzato.

Proposizione – Strati adiacenti

- Lo strato N è **fornitore** (server) dello strato $N + 1$, cioè gli offre servizi.
- Lo strato N è **cliente** (client) dello strato $N - 1$, cioè ne usa i servizi.
- Uno strato comunica solo con gli strati adiacenti, e degli altri non sa nulla.

Definizione – Service Access Point

Il **SAP** (*Service Access Point*) è l'interfaccia logica fra lo strato $N + 1$ e lo strato N . Lo strato $N + 1$ la usa per chiedere un servizio allo strato N , come si chiama una funzione di un'API.



Ogni strato è realizzato da un **protocollo** (Capitolo 1), la procedura standard con le parti in gioco e i messaggi che si scambiano. Per questo la pila degli strati si chiama anche **pila protocollare** (*stack*).

Definizione – Pila TCP/IP e modello OSI

- La **pila TCP/IP**, l'architettura di Internet, ha cinque strati.
- Il modello **OSI** (*Open Systems Interconnection*) è il modello di riferimento a sette strati per l'interconnessione di sistemi diversi in rete. La pila TCP/IP ne è una versione compatta.

Strato	TCP/IP	OSI
7	Applicazione (5)	Applicazione
6	<i>nell'applicazione</i>	Presentazione
5	<i>nell'applicazione</i>	Sessione
4	Trasporto (4)	Trasporto
3	Rete (3)	Rete
2	Collegamento (2)	Collegamento dati (<i>data link</i>)
1	Fisico (1)	Fisico

I primi quattro strati, dal basso, coincidono. Le funzioni di sessione e di presentazione, nella pila TCP/IP, fanno parte dello strato di applicazione.

2 Applicazione e trasporto

Definizione – Strato di applicazione

Lo **strato di applicazione** (5) contiene le applicazioni di rete. Un'applicazione è fatta di due **processi**, programmi in esecuzione su macchine diverse, di solito un **client** e un **server** (Capitolo 1). Il client manda una richiesta (*request*) e il server risponde (*response*) con il risultato del servizio.

Nel web il client è il browser, la richiesta indica con un **URL** il contenuto voluto, e la risposta contiene quel contenuto, con il protocollo HTTP. La posta elettronica usa invece SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*).

Lo sviluppatore di un'applicazione definisce che cosa fanno client e server e quali messaggi si scambiano. Non sa e non deve sapere se in mezzo ci sono Wi-Fi, cavo, rete mobile o fibra, quanti router, o se la rete è a circuito o a pacchetto. L'unica domanda che si pone è quali servizi gli deve offrire lo strato sotto.

2.1 Trasporto

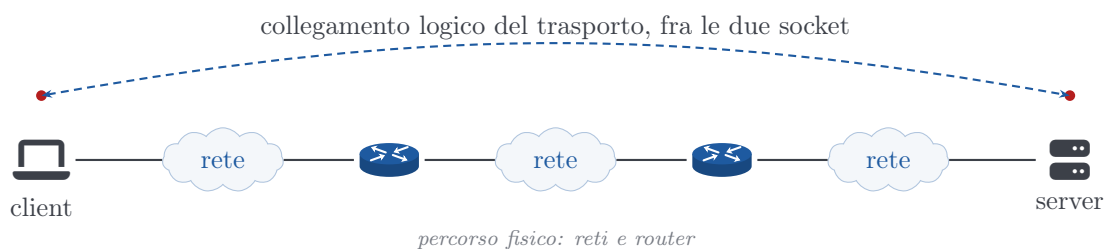
Definizione – Strato di trasporto

Lo **strato di trasporto** (4) dà ai due processi l'illusione di essere collegati direttamente, da un **collegamento logico** punto a punto. Il processo consegna il messaggio al trasporto, che lo porta al processo dall'altra parte.

Definizione – Socket

Una **socket** è la porta logica a cui si attacca un'estremità del collegamento logico. È il SAP fra l'applicazione e il trasporto, e la crea il sistema operativo perché le applicazioni consegnino e ricevano messaggi.

Il collegamento logico è un'astrazione, come il circuito della commutazione di circuito. Sotto c'è un percorso fisico fatto di reti e router, che è compito dello strato di rete.



Definizione – TCP e UDP

Lo strato di trasporto di Internet ha due realizzazioni classiche, con servizi diversi.

- **TCP** (*Transmission Control Protocol*) offre un **trasferimento affidabile** dei dati (*reliable data transfer*), cioè consegna tutti i dati e li consegna corretti.
- **UDP** (*User Datagram Protocol*) non offre questa garanzia e ammette la perdita di pacchetti.

Il progettista sceglie in base al servizio che serve. Un'applicazione che ha bisogno di dati completi e corretti usa TCP. Le applicazioni in tempo reale, come le telefonate VoIP, tollerano qualche perdita, perché chi ascolta ricostruisce dal contesto una parola persa, e possono usare UDP.

3 Rete, collegamento e fisico

Scendendo nella pila, la comunicazione si vede con sempre più dettagli. L'applicazione vede due processi che si scambiano messaggi, il trasporto un collegamento logico da estremo a estremo, e la rete il problema di spostare fisicamente un messaggio fra macchine lontane.

Definizione – Strato di rete

Lo **strato di rete** (3) consegna i messaggi da estremo a estremo, dall'host sorgente all'host destinazione. Lo fa con due funzioni:

1. l'**instradamento** (*routing*) trova il percorso, la sequenza di router da attraversare;
2. la **commutazione**, cioè l'inoltro del Capitolo 1, sposta il pacchetto dall'interfaccia d'ingresso di un router a quella d'uscita, verso la rete successiva.

Per lo strato di rete vale una regola sola: i dispositivi collegati alla stessa rete, o **rete locale** (LAN), comunicano fra loro direttamente. Per raggiungere una macchina di un'altra rete serve un intermediario, il **router** (o *gateway*), che ha un'interfaccia in ciascuna delle due reti e fa saltare il pacchetto dall'una all'altra.

Definizione – Servizio best effort

Il servizio della rete è **best effort**, cioè non affidabile. Un pacchetto può:

- essere **modificato**, per interferenze o da qualcuno che lo altera di proposito;
- andare **perso**, quando trova un buffer pieno (Capitolo 3);
- essere **duplicato** o arrivare in un ordine diverso da quello di partenza.

Agli errori della rete rimedia lo strato di trasporto, per le applicazioni che chiedono dati corretti, con il trasferimento affidabile di TCP. La perdita viene dai buffer, e la congestione (Capitolo 4) è ciò che li riempie.

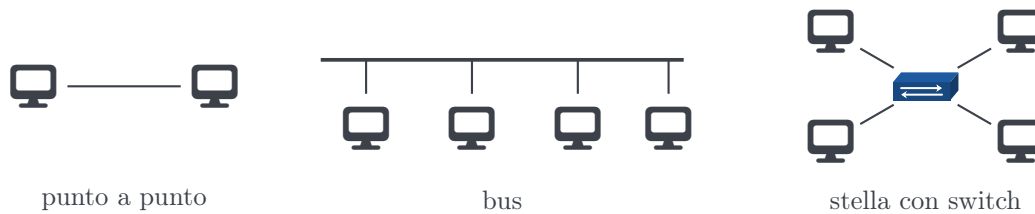
3.1 Collegamento

Definizione – Strato di collegamento

Lo **strato di collegamento** (2) realizza la comunicazione diretta fra le macchine della stessa rete locale, senza router né altri intermediari. Per questo il mezzo deve essere **broadcast**, cioè quando una stazione trasmette tutte le altre ricevono.

Una rete locale si realizza in tre modi.

- Con un **collegamento punto a punto**, il modo più semplice.
- Con un **bus**, un conduttore condiviso a cui le stazioni si agganciano con connessioni a T. Il segnale emesso da una stazione si propaga lungo il conduttore e raggiunge tutte le altre. Oggi è poco usato.
- Con una **stella**, in cui le stazioni sono collegate a un centro stella, lo **switch**.



Definizione – Switch

Lo **switch** è un commutatore di livello 2, cioè commuta solo all'interno di una rete locale. Un messaggio destinato a una stazione lo rilancia solo sulla porta collegata a quella stazione.

Lo switch raffina il mezzo broadcast, perché si può ancora parlare con tutti, ma l'uscita è scelta. Su un mezzo del tutto broadcast due stazioni che trasmettono insieme si sovrappongono (**collisione**), mentre con lo switch non si sovrappongono.

Ogni rete di un percorso può usare una tecnologia di collegamento diversa. Un portatile, per esempio, usa il Wi-Fi fino all'access point, da lì il traffico passa su Ethernet, la tecnologia delle reti cablate, e più avanti su collegamenti in fibra ottica.

3.2 Fisico

Definizione – Strato fisico

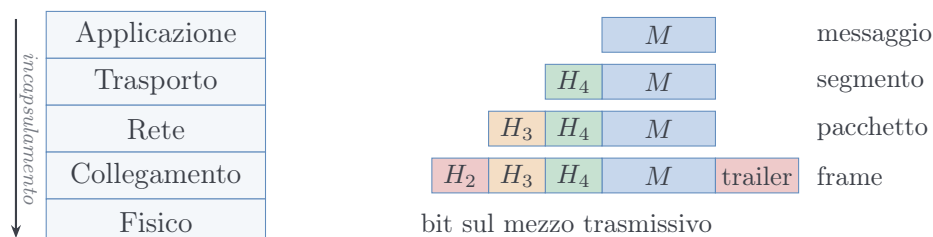
Lo **strato fisico** (1) tratta l'informazione e la prepara per l'invio sul mezzo trasmissivo, per esempio trasformando i bit in un segnale analogico che il collegamento può trasportare, e il segnale ricevuto di nuovo in bit.

4 Incapsulamento

Definizione – Incapsulamento e decapsulamento

- Per usare il servizio dello strato sotto, uno strato fa l'**incapsulamento**: mette la propria unità dati come payload in una nuova unità dati, a cui aggiunge l'intestazione dello strato sotto.
- Il **decapsulamento** è l'operazione inversa: risalendo la pila, toglie l'intestazione più esterna.

Strato	Unità dati	L'intestazione contiene, per esempio
Applicazione	messaggio M , come una richiesta HTTP GET con l'URL	—
Trasporto	segmento: H_4 e M	i numeri di porta (TCP o UDP)
Rete	pacchetto: H_3 e segmento	gli indirizzi IP di sorgente e destinazione
Collegamento	frame: H_2 , pacchetto e trailer	gli indirizzi MAC (frame Ethernet)



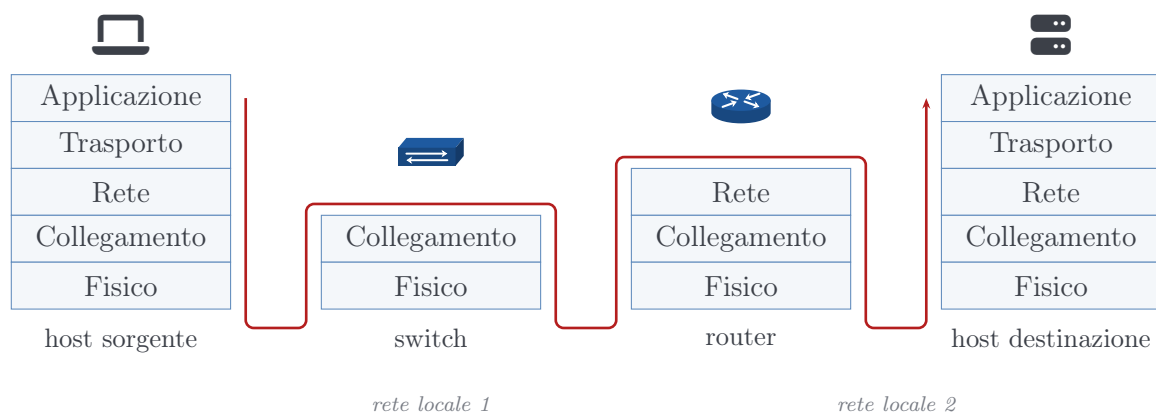
Proposizione – Quando si decapsula

Un'unità dati si decapsula quando raggiunge la **destinazione dello strato** della sua intestazione più esterna.

- La destinazione di livello 2 è la prossima macchina nella rete locale, per esempio il router.
- La destinazione di livello 3 è l'host il cui indirizzo IP è nel pacchetto.
- La destinazione di livello 4 è il processo che riceve il messaggio.

4.1 Attraverso uno switch e un router

Un host sorgente è collegato a uno switch, lo switch a un router, e il router, con un collegamento punto a punto, all'host destinazione. Le reti locali sono due, separate dal router.



1. L'host incapsula M fino al frame, con destinazione di livello 2 il router.
2. Lo **switch** legge l'intestazione H_2 per sapere dove rilanciare il frame, ma non decapsula, perché non è la destinazione di livello 2. Delle altre intestazioni non capisce nulla.
3. Il **router** è la destinazione di livello 2 e toglie H_2 . A livello 3 vede che il pacchetto non è per lui, quindi non apre il segmento, cerca nella tabella l'interfaccia d'uscita e commuta il pacchetto.
4. Il router costruisce un **frame nuovo**, con sorgente la propria interfaccia d'uscita e destinazione l'host. Il pacchetto, con i suoi indirizzi IP, è quello di prima.
5. L'host destinazione toglie H_2 , trova nel pacchetto il proprio indirizzo IP e toglie H_3 . Lo strato di trasporto consegna M al processo giusto.

Uno switch si chiama **dispositivo di livello 2** e un router **dispositivo di livello 3** per questo motivo, perché ognuno lavora con le intestazioni fino al proprio strato e le altre non le guarda.

Definizione – Multiplazione e demultiplazione

Più processi di un host, come il browser e la posta, condividono la stessa scheda di rete.

- In uscita lo strato di trasporto fa la **multiplazione** dei loro flussi.
- In ingresso fa la **demultiplazione**, cioè consegna ogni segmento al processo giusto grazie al **numero di porta** nell'intestazione H_4 .

Riepilogo

- **Strati:** lo strato N offre servizi a $N + 1$ attraverso un SAP e usa quelli di $N - 1$; come li realizza non interessa agli altri.
- **Pile:** TCP/IP ha cinque strati, OSI sette (con sessione e presentazione).
- **Applicazione e trasporto:** client e server si scambiano messaggi su un collegamento logico fra due socket.
- **TCP e UDP:** il primo è affidabile, il secondo ammette perdite.
- **Rete:** instradamento e commutazione da estremo a estremo, con un servizio best effort.
- **Collegamento:** comunicazione diretta in una LAN, punto a punto, bus o stella con switch.
- **Incapsulamento:** M , segmento (H_4), pacchetto (H_3), frame (H_2 e trailer). Si decapsula alla destinazione dello strato.
- **Demultiplazione:** il numero di porta sceglie il processo.

5 Esercizi

Esercizio 1 – Appello del 12/01/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 9

Il modello OSI mira a rappresentare:

- a. le interazioni che avvengono tra la CPU di un computer e i processi del sistema;
- b. le interazioni che avvengono tra sistemi differenti interconnessi in rete;
- c. esclusivamente gli scambi di messaggi che si hanno tra host e server di Internet;
- d. le interazioni tra le applicazioni degli utenti e i sistemi che servono a farle comunicare.

Soluzione a pagina 10 →

Esercizio 2 – Appello del 08/02/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 4

I processi applicativi che sono attivi in un host ricevono i dati di propria competenza grazie

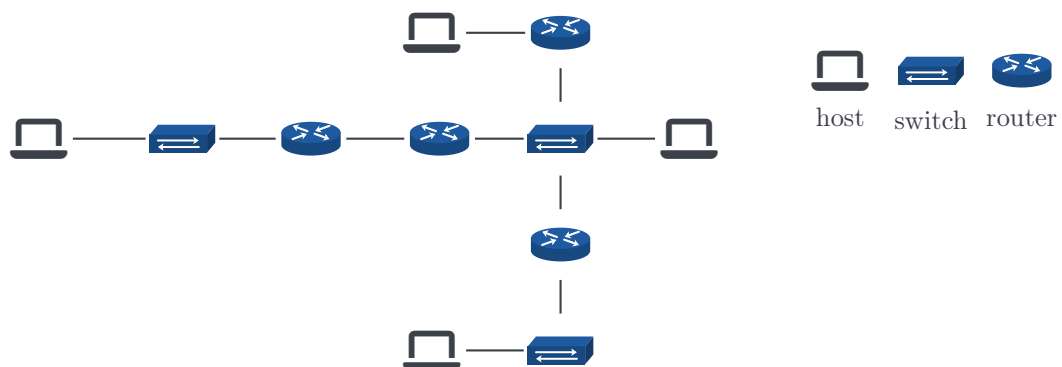
- a. alle informazioni contenute nei campi indirizzo di destinazione e tipo di protocollo del pacchetto IP che porta i dati;
- b. alle informazioni di indirizzamento contenute nei dati stessi;

c. alla funzione di indirizzamento svolta dal livello di trasporto (UDP, TCP).

Soluzione a pagina 10 →

Esercizio 3 – Appello del 12/01/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 12

Con riferimento alla topologia fisica mostrata in figura, determinare il numero di sotto-reti.



- a. 5;
- b. 4;
- c. 7;
- d. 10.

Soluzione a pagina 10 →

6 Soluzioni

Soluzione dell'Esercizio 1 – Appello del 12/01/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 9

OSI (*Open Systems Interconnection*) è il modello di riferimento a sette strati per l'interconnessione di sistemi diversi in rete. Descrive tutta la comunicazione, dallo strato fisico a quello di applicazione, anche nei nodi intermedi come i router.

- a. Le interazioni fra CPU e processi stanno dentro una sola macchina, e non riguardano la rete.
- c. Non riguarda solo host e server, perché gli strati bassi descrivono anche switch e router.
- d. Le applicazioni sono solo lo strato più alto, e il modello descrive anche le interazioni fra gli strati sotto.

Risposta: ☐ b.

[← Torna all'Esercizio 1, pagina 8](#)

Soluzione dell'Esercizio 2 – Appello del 08/02/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 4

L'indirizzo IP di destinazione del pacchetto individua l'host, non il processo. Quando l'host lo riconosce come proprio, toglie H_3 e passa il segmento allo strato di trasporto. In un host girano però molti processi, e il trasporto sceglie quello giusto con il numero di porta dell'intestazione H_4 , cioè fa la demultiplazione.

- a. Le informazioni del pacchetto IP portano i dati all'host, ma non distinguono i processi al suo interno.
- b. I dati sono il messaggio dell'applicazione, e l'indirizzamento sta nelle intestazioni aggiunte dagli strati sotto.

Risposta: ☐ c.

[← Torna all'Esercizio 2, pagina 8](#)

Soluzione dell'Esercizio 3 – Appello del 12/01/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 12

Le reti dello strato di rete sono separate dai router: dentro una rete le macchine comunicano direttamente, e un router ha un'interfaccia in ciascuna delle reti che collega. Uno switch sta dentro una rete locale, quindi non la divide. Si contano allora i gruppi di dispositivi collegati senza attraversare un router:

1. l'host di sinistra, il primo switch e un'interfaccia del primo router (stella con switch);
2. il collegamento punto a punto fra i primi due router;
3. il secondo router, lo switch centrale, l'host di destra e un'interfaccia dei due router in alto e in basso;
4. il collegamento punto a punto fra il router in alto e il suo host;
5. il router in basso, il terzo switch e il suo host.

Le reti sono 5. Risposta: .

[*← Torna all'Esercizio 3, pagina 9*](#)