

Reti di Calcolatori a.a. 2019/2020

Francesco Iannelli

September 16, 2019

Contents

1	Introduzione al corso	3
2	Cenni di modelli stratificati	3
2.1	Livello applicativo	4
2.2	Livello di trasporto	4
2.3	Livello rete	4
2.4	Livello link	4
3	Introduzione alle reti	5
3.1	LAN	5
3.2	WAN	6
3.3	Internetwork	6
3.3.1	Reti a commutazione di circuito	7
3.3.2	Reti a commutazione di pacchetto	7
3.3.3	Packet Switch e Circuit Switch a confronto	8
3.3.4	Circuiti virtuali	8
3.3.5	Datagram Network	8
3.4	Internet	9
3.4.1	Servizi	10
3.4.2	IETF/RFC/ICANN	10
3.4.3	Rete di accesso	10
4	Metriche di riferimento	11
4.1	Ritardi	12
4.1.1	Ritardo di elaborazione del nodo	12
4.1.2	Ritardo di accodamento	12
4.1.3	Ritardo di trasmissione	12
4.1.4	Ritardo di propagazione	12
4.2	Esempio	13
4.3	Volume di un link	13
4.4	Esempio	13
5	Modelli Stratificati e Protocolli	14
5.1	OSI: Open Systems Interconnection	15
5.1.1	Modello ISO/OSI	15
5.2	Protocollo	16
5.3	Incapsulamento dell'informazione	17
5.4	Stack protocollare TCP/IP	18
5.4.1	Lo strato applicativo	19
5.4.2	Web	22
5.4.3	HTTP Protocol	23

1 Introduzione al corso

email: federica.paganelli@unipi.it

modalità d'esame: prova scritta (compitini) e orale (facoltativo) più laboratorio che prevede progetto e orale.

N.B. Si accede alla prova orale di laboratorio solo dopo aver passato lo scritto.

2 Cenni di modelli stratificati

Sono architetture di comunicazione a strati.

Concetti generali:

- Stratificazione
- Information hiding
- Separation of concerns

Vantaggi della stratificazione:

- **Facilità di progettazione.**
- **Facilità di manutenzione.**
- **Possibilità di riciclo.**

Due modelli: **ISO/OSI** (approccio top-down) e **Stack TCP/IP** (approccio bottom-up), quest ultimo vincente.

Idea chiave: suddivisone in sottoproblemi.



Figure 1: Modello stratificato

2.1 Livello applicativo

Fanno parte del livello applicativo:

- Identificativi delle risorse: URL, URI e URN.
- Il web: user agents, protocollo http.
- Protocollo FTP.
- TELNET: servizio di terminale virtuale.
- Posta elettronica.
- Sistema dei nomi DNS a dominio e la risoluzione dei nomi: iterativa e ricorsiva.
- molto altro ancora...

2.2 Livello di trasporto

Due tecnologie degne di nota:

1. Protocollo **TCP: connection-oriented**, *orientato alla connessione*.
2. Protocollo **UDP: connection-less**, molto più leggero, prende dati applicativi e li affida allo strato IP, NON da garanzie di consegna nè di ordine.

2.3 Livello rete

Nel livello rete si ricava un percorso dall'host sorgente all'host destinatario usando le informazioni che si trovano nell'IP.

Verrà trattato il protocollo Ipv4 e introdotto il protocollo Ipv6.

2.4 Livello link

Si occupa di gestire il collegamento tra due nodi **adiacenti**. La tecnologia principale è l'**ethernet**.

3 Introduzione alle reti

Cos'è una rete? Quante tipologie di reti ci sono? Cos'è internet?

Definizione 3.1. Una **rete** è un'interconnessione di dispositivi in grado di scambiarsi e interpretare le informazioni. Comprende sistemi terminali e intermedi: *e.g. router, switch e modem.*

I sistemi terminali si possono dividere in due tipi: **host** e **server**, sull'host girano le applicazioni utente mentre il server esegue programmi che forniscono servizi applicativi ad applicazioni.

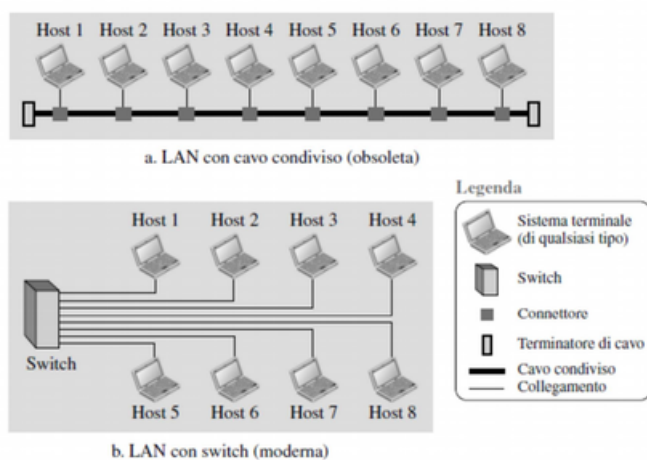
N.B. il termine host può essere usato per indicare anche un server.

*L'host, infatti, può essere sia un server sia il terminale di un utente che esegue un'applicazione client, più generalmente **l'host è una macchina.***

Definizione 3.2. Una rete è formata da **dispositivi** e da **tecnologie**.

3.1 LAN

Acronimo di **Local Area Network**, è una rete di area geografica limitata collegata attraverso una tecnologia ethernet **bus** o ethernet **switch**: Ciascun



host ha un cavo che lo collega allo switch e a ogni porta dello switch corrisponde un host. Lo **switch** possiede una tecnologia di autoapprendimento ed è una componente del **livello link**.

3.2 WAN

Acronimo di **Wide Area Network**, è una rete di area geografica estesa: è composta da due o più reti collegate tramite un mezzo di trasmissione. Le reti coinvolte potrebbero anche essere reti LAN. *(e il link potrebbe essere affittato a un'azienda da un operatore di telefonia).*

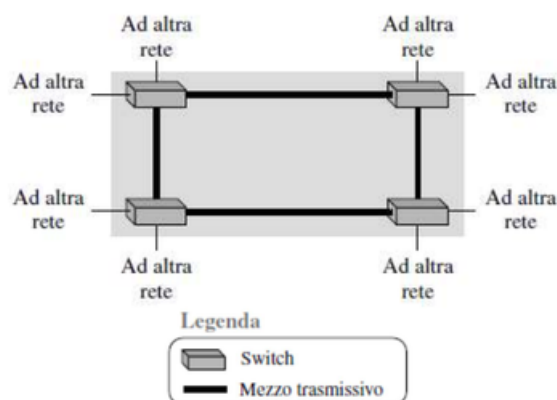


Figure 2: Un esempio di WAN a cavo condiviso e a commutazione.
Le WAN permettono l'esistenza di **percorsi alternativi** e la **divisione del traffico**.

3.3 Internetwork

L'internet è un sistema in cui ci sono più reti composte, capaci di scambiarsi informazioni e collegate. Concettualmente è una WAN ma è più complicata.

I dispositivi che la compongono si distinguono in **sistemi terminali** e dispositivi come gli **switch** e i **routers** che si trovano nel percorso tra i sistemi sorgente e i sistemi destinazione.

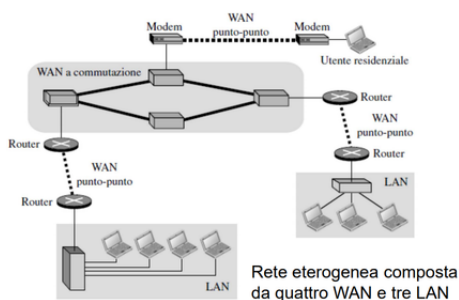


Figure 3: Una internetwork.

Problema: come mandare informazioni da un host a un altro?

3.3.1 Reti a commutazione di circuito

Nelle **reti a commutazione di circuito** le **risorse** sono **riservate end to end** per ogni connessione. Risulta quindi necessario il **setup della comunicazione** per instaurare la connessione ed elargire le risorse.

La risorsa non è tutto il link, bensì si considerano come risorse la capacità o la larghezza di banda porzionate per ogni connessione. Le risorse assegnate rimangono inattive se non utilizzate (*e.g. telefonata*). I dispositivi mantengono lo stato della connessione. **Le performance sono garantite**. La capacità delle linee (*link*) cambia a seconda della loro funzione all'interno della rete. Il **punto debole** delle reti a commutazione di circuito è la **poca flessibilità nel dispiegamento delle risorse**.

3.3.2 Reti a commutazione di pacchetto

Nelle **reti a commutazione di pacchetto** gli utenti inviano pacchetti che condividono le risorse del canale di comunicazione. **Non c'è quindi un canale dedicato** ai pacchetti di un singolo utente. La principale differenza rispetto alla commutazione di circuito risiede nell'implementazione della logica dei dispositivi di interconnessione, ovvero:

- **Commutazione di Circuito:** avviene il **setup** della connessione dove si prealloca l'utilizzo del collegamento trasmissivo con collegamenti garantiti.
- **Commutazione di Pacchetto:** non viene instaurata una connessione bensì le informazioni necessarie si trovano all'interno dei pacchetti stessi, non ci sono informazioni di connessione memorizzate nei dispositivi coinvolti.

Nelle reti a commutazione di pacchetto quindi le risorse vengono usate a seconda della necessità. Possono quindi verificarsi situazioni di contesa delle risorse e sussiste il pericolo di congestione o di perdita dei pacchetti nel caso in cui la dimensione della coda del router non fosse sufficiente a contenere il flusso dei pacchetti entranti: il commutatore (*router*) deve infatti ricevere l'intero pacchetto prima di poter cominciare a trasmetterlo sul collegamento in uscita (***store and forward***). **Non sono quindi garantite le prestazioni**.

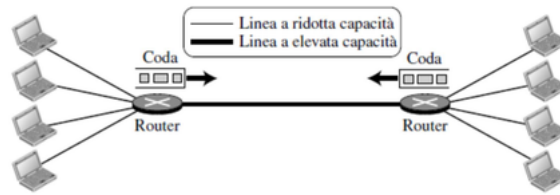


Figure 4: Rete a commutazione di pacchetto. Da notare le diverse capacità dei link.

3.3.3 Packet Switch e Circuit Switch a confronto

Vi sono 35 utenti su una rete con 100 Kbit/s di connessione e un link da 1 Mbit/s. Ogni utente è attivo solo il 10% del tempo.

Con una **rete a commutazione di circuito** si riescono a gestire **solo** 10 utenti.

Con una **rete a commutazione di pacchetto** si hanno i seguenti casi:

1. 10 o meno utenti attivi: nessun problema.
2. Più di 10 utenti attivi: ritardo.

Tuttavia che gli utenti siano tutti e 35 attivi contemporaneamente è poco probabile (infatti $P(35) = 0.0004$). Se ne deduce che la rete a commutazione di pacchetto riesce a gestire tutti gli utenti contemporaneamente nella maggior parte dei casi.

Nonostante il risultato ottenuto non si deve pensare che la rete a commutazione di circuito sia obsoleta. Nel corso degli anni infatti le due tecnologie sono state **integrate** in vari modi.

La commutazione di circuito infatti è usata nella telefonia fissa (*PSTN: public switch telephone network*) per i servizi voce, la commutazione di pacchetto invece per i dati.

Nelle reti ottiche di prima e seconda generazione si usano entrambe le tecnologie.

3.3.4 Circuiti virtuali

I circuiti virtuali funzionano nel seguente modo: viene stabilito un path tra host sorgente e host destinazione e tutti i pacchetti di un certo flusso seguono lo **stesso** path.

3.3.5 Datagram Network

Con **datagram** si indica un'entità informativa autocontenuta che contiene le informazioni sufficienti per essere indirizzata alla destinazione senza comunicazioni aggiuntive tra sorgente e destinazione: **non è quindi detto** che pacchetti di uno stesso flusso seguano lo stesso path sulla rete.

3.4 Internet

Come interconnettere reti già esistenti?

Definizione 3.3. Una internet (con i minuscola) è una rete costituita da due o più reti interconnesse.

La internet più famosa è chiamata **Internet** (con i maiuscola) ed è composta da migliaia di reti interconnesse. Ogni rete connessa ad Internet deve usare il protocollo IP e rispettare certe convenzioni su come vengono assegnati nomi e indirizzi. Si possono facilmente aggiungere nuove reti. Tuttavia è impensabile avere un link fisico tra ogni host, si hanno invece numerosi dispositivi di interconnessione che permettono la comunicazione da un host all'altro e da un router all'altro.

Uno scorcio delle **componenti di Internet**:

- Miliardi di dispositivi interconnessi (e.g. hosts, end systems).
- Link di comunicazione (e.g. fibre ottiche, doppini telefonici, cavi coassiali, onde radio).
- Routers: instradano pacchetti (*sequenze*) di dati attraverso la rete.

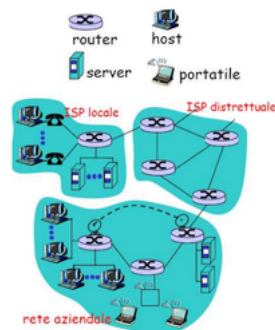


Figure 5: Una porzione di Internet

Uno scorcio delle **entità software** di Internet:

- Applicazioni e processi che elaborano le informazioni.
- **Protocolli** che regolamentano la trasmissione e la ricezione di informazioni e.g. TCP, IP, HTTP, FTP, PPP.
- Interfacce: verranno definite in seguito, sono le “*membrane*” che separano gli “*strati*”.

3.4.1 Servizi

L'**infrastruttura di comunicazione** consente il funzionamento delle applicazioni distribuite per scambio di informazioni (*e.g. WWW, email, giochi, e-commerce, database, controllo remoto, ecc*).

Lo **stack protocollare** offre il servizio di connessione. Vi sono due approcci:

1. **Connection-less:** I dati vengono trasferiti **senza** stabilire una connessione, non c'è nessuna garanzia di ordine e consegna. *Ogni pacchetto ha una vita a sè.*
2. **Connection-oriented:** Prevede l'**instaurazione della connessione**, il trasferimento dei dati e, in seguito, la chiusura della connessione. Garantisce integrità, completezza e ordine.

3.4.2 IETF/RFC/ICANN

Definizione 3.4. L'IETF (Internet Engineering Task Force) è l'organismo che studia e sviluppa i protocolli in uso su Internet. Si basa su gruppi di lavoro a cui chiunque può accedere.

Definizione 3.5. RFC/STD (Request For Comments & STanDards) sono i documenti "*ufficiali*" che descrivono i protocolli usati su Internet. Sono pubblicamente accessibili in rete.

Definizione 3.6. ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) È un ente internazionale che coordina il sistema dei nomi di dominio (DNS), assegna i gruppi di indirizzi di rete, identificativi di protocollo e ha funzioni di controllo (blando) dello sviluppo di Internet.

3.4.3 Rete di accesso

Internet è una internetwork che consente a qualsiasi utente di farne parte. L'utente, tuttavia, deve essere fisicamente collegato a un ISP (*internet service provider*).

Definizione 3.7. Il collegamento che connette l'utente al primo router di internet è detto **rete di accesso**, suddetto collegamento può essere effettuato tramite rete telefonica, rete wireless o tramite accesso diretto.

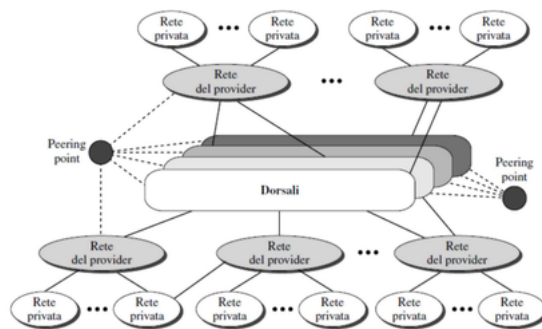


Figure 6: Un modello concettuale di Internet

4 Metriche di riferimento

Come misurare le prestazioni di una rete?

Definizione 4.1. La **larghezza di banda** o **bandwidth** è la larghezza dell'intervallo di frequenze utilizzato dal sistema trasmissivo.

Definizione 4.2. Il **bit rate** o **transmission rate** è la quantità di dati che possono essere trasmessi o ricevuti nell'unità di tempo. [e.g. bps = bit/s]
Il bitrate dipende dalla tecnica trasmissiva ed è proporzionale alla larghezza di banda.

Definizione 4.3. Il **throughput** è la quantità di traffico che arriva realmente a destinazione nell'unità di tempo, al netto di perdite sulla rete, del funzionamento dei protocolli etc.

Definizione 4.4. La **latenza** o **latency** è il tempo che passa dal momento in cui il primo bit parte dalla sorgente al momento in cui l'intero messaggio arriva a destinazione.

$$L = r_{propagazione} + r_{trasmissione} + r_{accomodamento} + r_{elaborazione}$$

4.1 Ritardi

Il ritardo introdotto da un nodo è la somma di questi 4 ritardi:

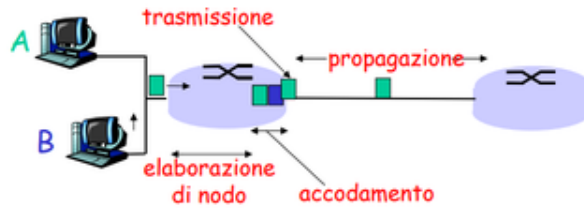


Figure 7: Una visione di contesto

4.1.1 Ritardo di elaborazione del nodo

Il ritardo di elaborazione è **causato dall'elaborazione del percorso** (ovvero dove inoltrare il pacchetto scegliendo il percorso "*migliore*") e **dal controllo di errori sui bit**, è **tipicamente piccolo e trascurabile**.

4.1.2 Ritardo di accodamento

Il ritardo di accodamento è **il tempo che un pacchetto passa nella coda del router**, dipende dall'intensità e dal tipo di traffico. I pacchetti si accodano nei buffer dei router se il tasso di arrivo dei pacchetti eccede la capacità del collegamento di inoltrarli. Se non ci sono spazi liberi i pacchetti in arrivo vengono scartati.

4.1.3 Ritardo di trasmissione

Il ritardo di trasmissione è **il tempo impiegato a trasmettere un pacchetto intero** sul link.

R = rate di trasmissione del collegamento.

L = lunghezza del pacchetto.

$$r_{trasmissione} = \frac{L}{R}$$

4.1.4 Ritardo di propagazione

Il ritardo di propagazione è **il tempo impiegato da un bit per essere propagato da un nodo (router) all'altro**.

d = lunghezza del collegamento fisico

s = velocità di propagazione del collegamento fisico

$$r_{propagazione} = \frac{d}{s}$$

4.2 Esempio

Si consideri l'invio di un file di 1 MBit su un datalink di lunghezza 4800km:

$$d = 4800 \times 10^3 m$$

$$s = 3 \times 10^8 m/s$$

Si calcoli il ritardo di propagazione.

Soluzione:

$$r_{propagazione} = \frac{d}{s} = \frac{4800 \times 10^3 m}{3 \times 10^8 m/s} = 0.016 \text{ secondi.}$$

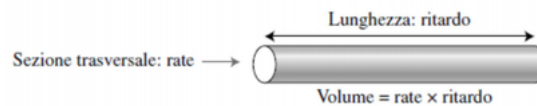
Sia il transmission rate pari a 64 kbps, si calcoli il ritardo di trasmissione.

$$r_{trasmissione} = \frac{L}{R} = \frac{10^6 bit}{64 \times 10^3 bps} = 15.625 \text{ secondi.}$$

Se il transmission rate fosse invece di 1 Gbps?

$$r_{trasmissione} = \frac{L}{R} = \frac{10^6 bit}{10^9 bps} = 0.001 \text{ secondi.}$$

4.3 Volume di un link



Definizione 4.5. Il volume di un link è il numero massimo di bit che il link può contenere.

$$Volume = bitrate \times ritardo$$

4.4 Esempio



Si calcoli il ritardo end-to-end di un pacchetto su un percorso con due router. Sia trascurabile il ritardo di congestione e si suppongano uguali su tutti link il propagation delay, il transmission delay e il processing delay.

Soluzione:

Essendoci due router intermedi bisogna attraversare tre link, quindi:

$$r_{totale} = 3 \times r_{propagation} + 3 \times r_{trasmissione} + 3 \times r_{processing}$$

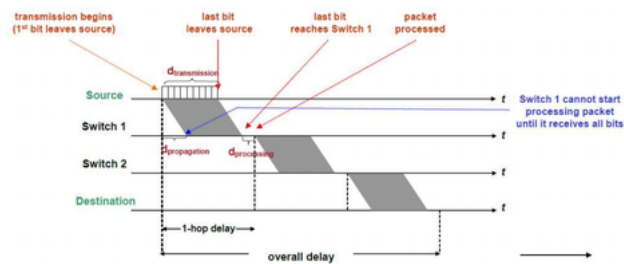


Figure 8: Quello che succede in dettaglio nell'esempio precedente.

5 Modelli Stratificati e Protocolli

Cos'è un protocollo? Cos'è uno strato?

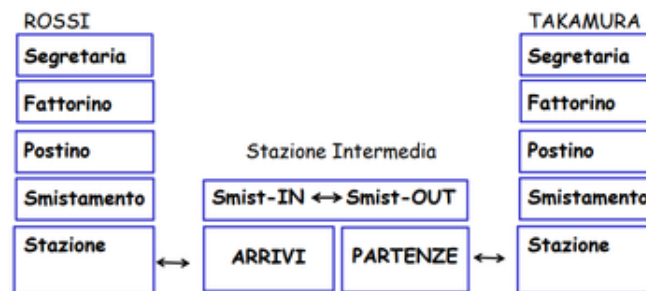


Figure 9: Esempio di stratificazione. Si nota come i vari strati del modello interagiscono tra di loro, dal basso verso l'alto e viceversa, per consentire al sig. Rossi e al sig. Takamura di scambiarsi lettere.

Vademecum per la lettura del seguente contenuto: N.B.:

1. Gli strati comunicano (*di solito*) **solo** con gli altri strati a loro adiacenti.
2. Uno strato **fornisce** servizi allo strato superiore e **riceve** servizi da quello inferiore.
3. La comunicazione tra strati adiacenti avviene attraverso un'**interfaccia**.
4. Tra due entità diverse comunicano fra di loro solo gli strati dello **stesso livello** e secondo un **protocollo assegnato**, queste due entità sono dette **peer**.

5.1 OSI: Open Systems Interconnection

Le **prime** reti di calcolatori nacquero come **sistemi chiusi** in cui tutti i componenti dovevano essere dello stesso costruttore. Erano quindi tecnologie chiuse e **non interoperabili** l'una con l'altra a causa di drastiche differenze (*e.g. differenza di linguaggio, modelli di stratificazione diversi e impossibilità per i programmi applicativi di riuscire ad operare in ambiente distribuito*). Alla fine degli anni '60 esistevano: ARPANET, SNA (IBM), DNA (Digital).

I **Sistemi Aperti** nascono dall'obiettivo di alcune aziende di realizzare una rete di calcolatori in cui qualsiasi terminale potesse comunicare con un qualsiasi fornitore di servizi mediante qualsiasi rete.

Per realizzare un sistema aperto è necessario stabilire delle regole comuni: **gli standards**.

Definizione 5.1. Un sistema che implementa **protocolli aperti** è un **sistema aperto** (open system).

Definizione 5.2. Un set di protocolli è **aperto** se:

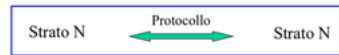
1. I dettagli (**specifiche**) dei protocolli sono disponibili pubblicamente.
2. I cambiamenti al set sono gestiti da un'organizzazione la cui partecipazione è aperta al pubblico

5.1.1 Modello ISO/OSI

L'International Organization for Standards (ISO) ha specificato uno standard per l'interconnessione di sistemi aperti: l' **Open System Interconnection Reference Model** (OSI-RM) poi diventato standard internazionale nel 1983 (ISO 7498). **Si basa sul concetto di architettura a strati i cui criteri sono:**

- **Divisione delle funzionalità:** il protocollo di telecomunicazione è diviso in strati o layers, ognuno dei quali svolge un compito piccolo e indipendente dagli altri.
Si cerca quindi di mantenere un minor numero di strati possibile e di far svolgere a ognuno di essi il minor numero di compiti possibile.
- **Comunicazione mediante interfacce:** i livelli comunicano mediante **chiamate standard**. Ogni livello è tenuto a rispondere alle **sole** chiamate che gli competono e che verranno invocate dai due livelli ad esso adiacenti.
- **Information hiding:** le modalità con cui le funzioni competenti ad un livello vengono svolte non è visibile dall'esterno che ne è così svincolato.

5.2 Protocollo



I protocolli definiscono il **formato** e l'**ordine** dei messaggi inviati e ricevuti tra entità della rete al livello n-esimo e le **azioni** che vengono fatte per la loro **trasmissione** e **ricezione**.

Definizione 5.3. Un **protocollo** è un insieme di regole che permettono a due entità uno scambio **efficace** ed **efficiente** delle informazioni. **Definisce** il **formato** e il **significato** dei frame (campi del messaggio), dei pacchetti o dei messaggi che vengono scambiati tra gli **strati paritari** di due entità diverse.

Un protocollo specifica quindi:

- La **sintassi** di un messaggio (e.g. i campi).
- La **semantica**.
- Le **azioni da compiere** (e.g. per l'invio, alla ricezione, alla trasmissione etc...).

Definizione 5.4. Uno **strato** o livello è un modulo interamente definito attraverso i servizi, protocolli e le interfacce che lo caratterizzano.

Definizione 5.5. Un' **interfaccia** è il set di regole governanti sintassi e semantica della comunicazione tra due **strati successivi** della **stessa entità**.

Definizione 5.6. Un **servizio** è insieme di **primitive** (operazioni) che uno strato fornisce ad uno strato soprastante. (*vedi sez. 3.4.1*).

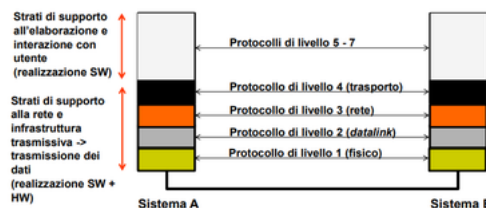


Figure 10: Esempio di stack protocollare.

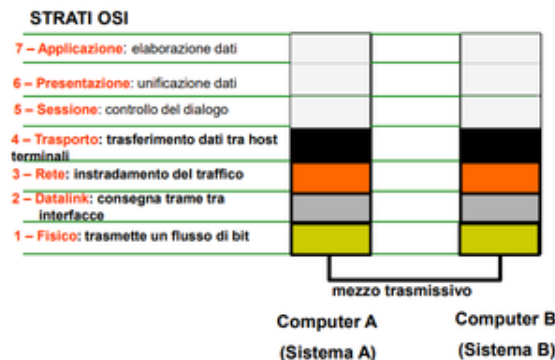


Figure 11: Gli strati di OSI.

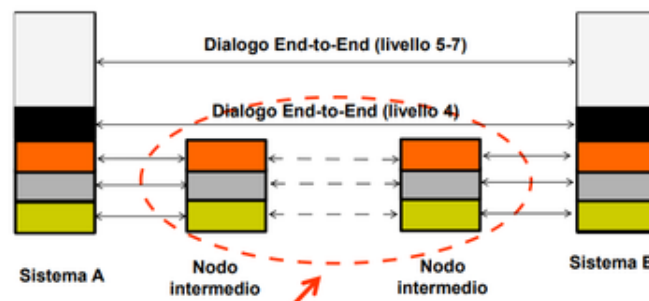


Figure 12: Esempio di collegamento tra end systems.

5.3 Incapsulamento dell'informazione

All'interno della rete l'informazione ha origine **al livello applicativo** (*livello 7 in figura*), discende quindi i vari livelli fino alla **trasmissione**, che avviene mediante il **canale fisico**. Da ogni livello attraversato viene aggiunta all'informazione una sezione informativa (o più di una) chiamata **header** che contiene informazioni pertinenti esclusivamente al livello stesso. Per i dati ricevuti invece si segue il cammino inverso. Si tratta infatti di un **processo di incapsulamento reversibile**.



- **Header:** è qualificazione del pacchetto dati per questo livello.
- **DATA:** è il payload proveniente dal livello superiore.
- **Trailer:** è usato per rilevare e correggere gli errori.

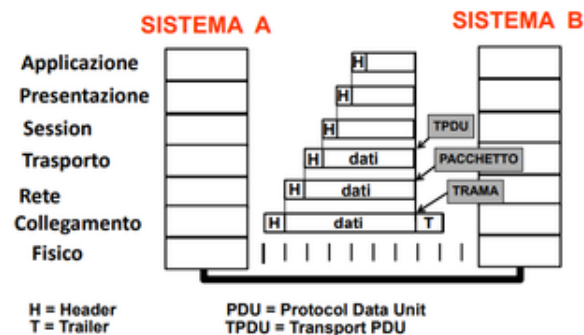


Figure 13: Il processo di incapsulamento. Da notare in particolare il payload.

5.4 Stack protocollare TCP/IP

TCP/IP è una **famiglia di protocolli** attualmente in uso su Internet. Si tratta di una **gerarchia di protocolli** costituita da **moduli interagenti**, ciascuno dei quali fornisce funzionalità specifiche. Il termine **gerarchia** significa che ciascun protocollo di **livello superiore** è supportato dai servizi **forniti** dai protocolli di **livello inferiore**. Definita in origine in termini di quattro livelli software soprastanti a un livello hardware, **la pila TCP/IP** è **oggi** intesa come **composta di cinque livelli**.

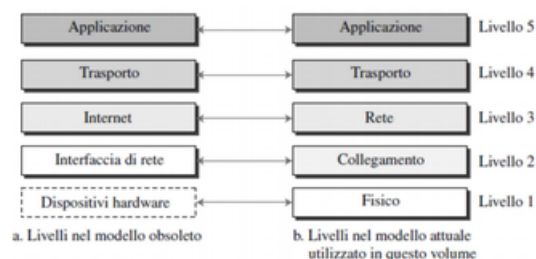


Figure 14: Livelli dello stack protocollare TCP/IP, si notino le differenze tra il modello originario e il modello attuale.

- Il **livello applicativo** supporta le applicazioni di rete.
- Il **livello di trasporto** supporta il trasferimento di dati da un host all'altro.
- Il **livello di rete** instrada i datagrammi dalla sorgente alla destinazione.
- Il **livello link** trasferisce dati tra elementi adiacenti della rete.
- Al **livello fisico** troviamo i bit sul link.

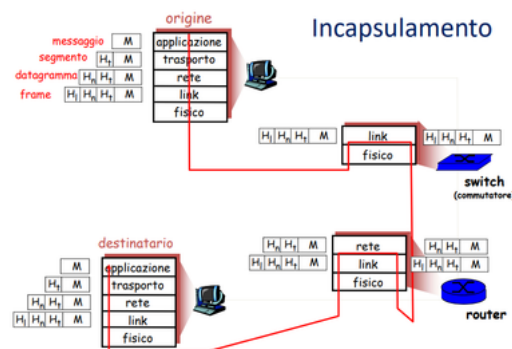


Figure 15: Esempificazione del processo di incapsulamento/decapsulamento dell'informazione.

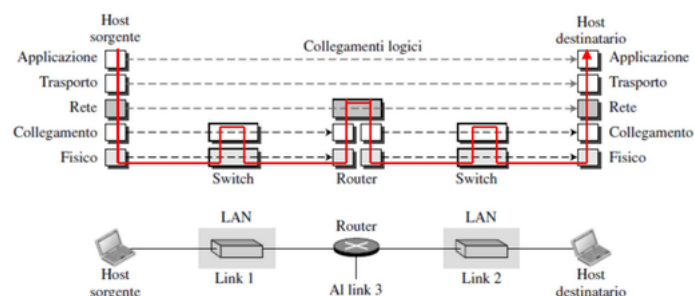


Figure 16: I vari collegamenti logici di comunicazione, in **rosso** invece, **il collegamento fisico**. La modularità del sistema fa in modo che gli strati paritari dei due host abbiano l'**illusione** di comunicare direttamente tra di loro. Si ricorda che queste entità situate a livelli corrispondenti su macchine (host) diverse sono dette **peer**.

5.4.1 Lo strato applicativo

Dello **strato applicativo** fanno parte le **applicazioni di rete**. Le applicazioni di rete sono composte da **processi distribuiti** e **comunicanti**, ovvero programmi eseguiti dai dispositivi terminali (host o end system) di una rete. Nella comunicazione **a livello applicativo** fra due dispositivi terminali interconnessi, due o più processi sono in esecuzione su ciascuno degli host comunicanti e si scambiano messaggi. Il protocollo dello strato applicativo definisce: (*repetita iuvant*)

- I **tipi** di messaggi scambiati al livello applicativo (e.g. richiesta e risposta).
- La **sintassi** e la **semantica** dei campi dei messaggi.
- Le **regole** di comunicazione **interprocessuale**.

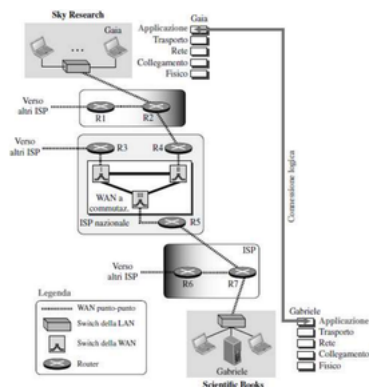


Figure 17: Esempio di comunicazione tra applicazioni di rete. Ancora una volta è bene ricordare che il protocollo crea l'*illusione* che i processi siano in comunicazione diretta.

Presentiamo ora i **paradigmi di comunicazione** dello strato applicativo:

- **Client-Server:** prevede un numero *limitato* di processi **server** che offrono servizi e sono **sempre** in esecuzione in attesa di ricevere richieste dai client. Un **client** è un programma che richiede un servizio. Tipicamente il client inizia il contatto con il server **inviando una richiesta** e il server risponde **offrendo il servizio** richiesto.
- **Peer-to-Peer:** comunicazione tra **peer** (*pari*) che possono sia **offrire** servizi che **inviare** richieste.
- **Misto.**

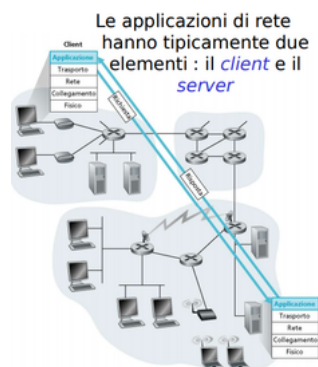


Figure 18: Esempio di paradigma client-server.

Abbiamo, seppur assai brevemente, esaminato la comunicazione a livello applicativo tra macchine diverse. Scendiamo ora più nel dettaglio iniziando a tracciare il percorso **reale** dei dati dallo **strato applicativo** allo **strato di trasporto**. Partiamo dalla seguente definizione:

Definizione 5.7. API: acronimo di Application Programming Interface, è un insieme di **procedure** e **regole** che un programmatore deve seguire per accedere a delle risorse. Facilita molto la programmazione del software client-side.

L' **API** che funge da **interfaccia** tra gli **strati di applicazione** e di **trasporto** è chiamata **socket** ed è usata dai processi dello strato applicativo per inviare e ricevere dati dallo strato di trasporto. Si tratta, ancora una volta, di una connessione **logica** poichè in realtà l'invio e la ricezione dei dati sono, nel **concreto**, responsabilità del sistema operativo e del protocollo TCP/IP.

Riportiamo un estratto dell'**API** di **TCP**:

```
connection TCPOpen(IPaddress, int) //to open a conn.
void TCPSend(connection, data) //to send data
data TCPReceive(connection) //to receive data
void TCPclose(connection) //to close a conn.
```

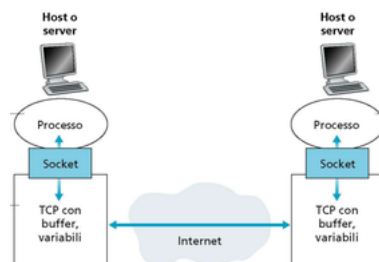


Figure 19: In figura due processi che comunicano tramite socket. Il processo è controllato dallo sviluppatore dell'applicazione, tutto ciò che è presente sotto la socket è controllato dal sistema operativo.

Sorge ora spontanea una domanda: **se ci fossero più processi su ogni host?**

Servirebbe un modo per **identificarli**... ci viene in aiuto il **socket address**.



Figure 20: Il socket address identifica sia il **processo** con il numero di porta che l'**host** con l'indirizzo IP, a ogni porta corrisponde un processo.

Riassumendo: dello strato applicativo fanno parte le **applicazioni di rete**, composte da **processi distribuiti** su macchine diverse che comunicano tra di loro mediante il protocollo proprio dello strato applicativo. Sebbene il protocollo fornisca alle applicazioni l'illusione di comunicare direttamente, la comunicazione è in realtà garantita da tutto lo stack protocollare sottostante. In particolare, lo strato applicativo dipende dai servizi offerti dallo **strato di trasporto** che gli è immediatamente sottostante. I due strati comunicano tramite una **API** che si chiama **socket**.

A seconda del **servizio di trasporto richiesto** dall'applicazione è possibile che si trovino in uso **protocolli di trasporto diversi** tra i quali: **TCP** e **UDP**. (*vedi sez. 2.2*)

Applicazione	Tolleranza alla perdita di dati	Throughput	Sensibilità al tempo
Trasferimento file	No	Variabile	No
Posta elettronica	No	Variabile	No
Documenti Web	No	Variabile	No
Audio/video in tempo reale	Sì	Audio: da 5 Kbps a 1 Mbps Video: da 10 Kbps a 5 Mbps	Sì, centinaia di ms
Audio/video memorizzati	Sì	Come sopra	Sì, pochi secondi
Giochi interattivi	Sì	Fino a pochi Kbps	Sì, centinaia di ms
Messaggistica istantanea	No	Variabile	Sì e no

Figure 21: In figura le caratteristiche di alcune delle principali applicazioni di rete. Non tutte le applicazioni sono uguali. Tipicamente la telefonia di internet usa il protocollo UDP.

5.4.2 Web

Il **web** è formato da risorse indirizzate da **URL**, acronimo di **uniform resource locator**. Generalmente queste risorse sono **pagine web**, formate da altri oggetti referenziati (*e.g. altre pagine web, immagini ecc...*). Lo **user agent** o **client** per il web è chiamato **browser** ed il **server** è chiamato **web server**.

Definizione 5.8. Una **URI** o Uniform Resource Identifier è una stringa compatta di caratteri che identifica una risorsa fisica o astratta.

Le **URL** sono un **sottoinsieme** delle URI e identificano le risorse tramite la loro posizione all'interno della rete. Le **URN** acronimo di **uniform resource name** sono un altro sottoinsieme delle URI la cui funzione è di rimanere **globalmente uniche** e **persistenti** anche quando le risorse da loro puntate cessano di esistere o non sono più disponibili. La **sintassi** delle URI è organizzata **gerarchicamente** e i componenti sono disposti in ordine di importanza da sinistra verso destra.

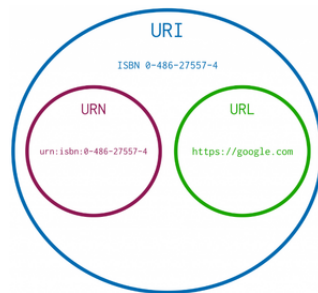


Figure 22: URN e URL non sono altro che specializzazioni delle URI.

Le **sintassi** della URI:

$\langle \text{scheme} \rangle : // \langle \text{authority} \rangle \langle \text{path} \rangle ? \langle \text{query} \rangle$

<http://maps.google.it/maps/place?q=largo+bruno+pontecorvo+pisa&hl=it>

- **scheme**: è **obbligatorio**, definisce lo **spazio dei nomi** della risorsa.
- **authority**: indica il **nome di dominio** di un host (*reg_name*) o il suo **indirizzo IP** in notazione decimale puntata. Tipicamente identifica un computer sulla rete.
- **path**: contiene **dati** specifici per l'authority (o per lo scheme) e **identifica** la risorsa **nel contesto** di quel namespace e di quell'authority.

Le URI possono essere **assolute** o **relative**, una **URI assoluta** identifica una risorsa **indipendentemente** dal contesto in cui è usata. Una **URI relativa** identifica una risorsa in relazione ad un'altra URL, è **priva di schema e di authority**, non viaggia sulla rete ed è interpretata dal browser in relazione al documento di partenza.

(e.g. <http://www.w3.org/pub/WWW/TheProject.html> oppure [/pub/WWW/TheProject.html](#) sotto l'host: www.w3.org).

5.4.3 HTTP Protocol

Il protocollo **HTTP** è un protocollo di tipo **request/response**: il client inizia la connessione inviando un messaggio di **request** al server che a sua volta invia una **response**. Si tratta di un **protocollo generico**, poichè non dipende dal formato delle risorse, e **stateless** poichè **le coppie richiesta/risposta sono indipendenti l'una dall'altra**. In **HTTP 1.0** dopo la prima coppia di richiesta/risposta la connessione viene **terminata** mentre in **HTTP 1.1** si **procede** con un'altra coppia.

Lo **schema http** è usato per accedere alle risorse attraverso il protocollo HTTP.

Si riporta di seguito la **sintassi** per le URL http:

$$http : // < host > [: < port >] [< path >]$$

- **host**: è un **host domain di Internet** valido oppure un indirizzo IP in forma decimale puntata.
- **port**: è un **intero**, se la porta è vuota o non è indicata si usa automaticamente la porta 80.
- **path**: specifica la **request URI** (*vedi seguito*).

N.B. Il protocollo HTTP utilizza il protocollo TCP tramite la sua API.

```
//esempio client
c = TCPOpen("131.115.7.24", 80);
TCPsend(c, "GET /index.html");
d = TCPreceive(c);

//esempio server
p = TCPbind(80); //where to wait for connections
d = TCPaccept(p); //waiting for connections
r = TCPreceive(d);
...
TCPsend(d, pag);
TCPclose(d);
```

Definizione 5.9. Una **connessione http** è un circuito logico di livello di trasporto stabilito tra due programmi applicativi per comunicare tra loro.

Una **connessione** può essere:

- **Non persistente**(*http1.0: RFC 1945*): si parla di connessione non persistente quando **per ogni richiesta** del **client** viene instaurata **una nuova connessione** con il **server**. Ciò aumenta il **carico** su quest ultimo e potrebbero verificarsi fenomeni di **congestione**. *Infatti per visualizzare le n immagini di un sito il client invia di seguito n richieste al server.*
- **Persistente**(*http1.1: RFC 2616*): la connessione è appunto **persistente**. Nello **standard** è specificato un meccanismo che consente al server di **chiudere** la connessione TCP su richiesta del client. (*CONNECTION = CLOSE, in GENERAL HEADER, vedi seguito.*)

N.B. Una volta che la chiusura della connessione è stata segnalata, il client **non deve** inviare altre richieste.

Esempio:

Supponiamo che l'utente digiti la seguente URL:

www.someSchool.edu/someDepartment/home.index

Con **una connessione non persistente**, in ordine temporale succedono le seguenti cose:

1. Il **client http** invia una richiesta di connessione **TCP** verso il server **http** al **www.someSchool.edu** (*La porta 80 è usata di default per il server http.*)
2. Il **server http** dell'host **www.someSchool.edu**, che aspetta le richieste di connessione **TCP** alla **porta 80**, **accetta la richiesta di connessione** e notifica il client.
3. Il **client http** invia quindi un **messaggio di richiesta**, contenente la URL.
4. Il **server http** riceve il messaggio di richiesta, compila un **messaggio di risposta** con l'oggetto richiesto indicato dalla URL: **someDepartment/home.index**, invia il messaggio e in seguito **chiude** la connessione.
5. Il **client http** riceve il messaggio di risposta che contiene il file html e lo visualizza.

Si ricorda che la ricezione e la trasmissione di tutti i messaggi elencati poco sopra avviene tramite socket.

Supponiamo ora che la URL contenga dei riferimenti a 10 immagini, in tal caso per ogni riferimento si devono ripetere tutti i passaggi definiti sopra. Salta immediatamente all'occhio la **scarsa efficienza** della procedura.

Con **una connessione persistente** invece il server lascerebbe aperta la connessione TCP dopo aver spedito la prima risposta e vi riceverebbe quindi le richieste successive. La connessione verrebbe chiusa dal server quando specificato nell'header di un messaggio **inviatogli dal client**, oppure alla mancata ricezione di richieste per un certo intervallo di tempo (*time out*).

Un ulteriore miglioramento delle prestazioni, si otterrebbe con una tecnica di **pipelining**, consistente nell'invio da parte del client di molteplici richieste senza aspettarne la ricezione da parte del server.

Il **server deve** tuttavia inviare le risposte nello stesso ordine in cui sono state ricevute le richieste e il **client non** può inviare **in pipeline** richieste che usano metodi HTTP **non idempotenti**. Ma cos'è un **metodo idempotente**?

Definizione 5.10. Un **metodo idempotente** è un metodo tale che il suo effetto collaterale sulla risorsa è lo **stesso** per N o 1 richieste identiche che ne fanno uso. (e.g. *GET, HEAD, PUT, DELETE, OPTIONS, TRACE*)

Definizione 5.11. Un **metodo safe** è un metodo che non produce effetti collaterali sulle risorse. (e.g. *non le modificano: GET, HEAD, OPTIONS, TRACE...*)

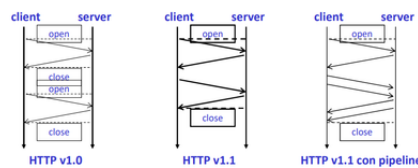


Figure 23: In figura sono rappresentate le differenze viste prima.

Come sono strutturati i messaggi HTTP?

Riportiamo di seguito la **struttura** di un generico messaggio http:

Request = Request-Line o Response = Status-Line per i messaggi di risposta.

```

*( general-header
| request-header o response-header
| entity-header )
CRLF
[ message-body ]

```

La prima riga o **start line** distingue i messaggi di request dai messaggi di response.

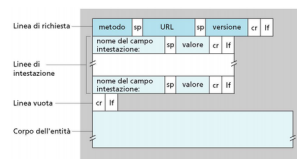


Figure 24: In figura un messaggio di richiesta.

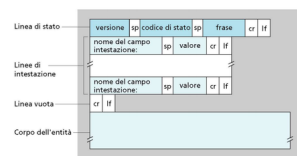


Figure 25: In figura un messaggio di risposta.

```

Request-Line = Method SP
              Request-URI SP
              HTTP-Version CRLF

GET http://www.w3.org/pub/WWW/TheProject.html HTTP/1.1

```

Method	=	"OPTIONS"		"GET"
		"HEAD"		"POST"
		"PUT"		"DELETE"
		"TRACE"		extension-method

Figure 26: La struttura della **request line**. Il campo **method** è case sensitive ed indica l'operazione da eseguire sulla risorsa identificata dalla URI. Il metodo **POST** serve per inviare dal client al server le informazioni inserite nel body del messaggio, **PUT** è usato dal client per chiedere al server di creare o modificare una risorsa, **DELETE** per cancellarla.

```

Status-Line
  HTTP-Version SP
  Status-Code SP
  Reason-Phrase CRLF

Esempio: HTTP/1.1 200 OK

```

Figure 27: La **status-line** è la prima riga del messaggio di risposta. Lo **status code** è un numero di 3 cifre, indica il risultato del tentativo di soddisfare la richiesta del client. La **reason-phrase** dà una breve descrizione testuale dello status-code. Lo status-code è rivolto alla macchina mentre la reason-phrase all'utente umano.

Gli **header** sono insiemi di coppie **nome : valore** che specificano alcuni parametri del messaggio trasmesso o ricevuto.

- **General Headers:** sono relativi alla **trasmissione** e si applicano a **tutto il messaggio**. (*e.g. **Date**, **Connection**: usato dal mittente per specificare delle opzioni desiderate per la connessione, ad esempio close. **Transfer-encoding**: specifica se e quali trasformazioni sono state applicate al corpo del messaggio ad esempio gzip, chunked ecc. **Cache control**: indica quale tipologia di cache può memorizzare il messaggio, può essere **public**, **private** o **no-cache**.*)
- **Entity Headers:** sono **metadati** relativi all'entità trasmessa. Ogni entity è costituita da un **entity body** e da una serie di **entity headers** che ne definiscono contenuto e proprietà. (*e.g. **Content Length***)
- **Request Headers:** sono relativi alla **richiesta**. Supportano il **content negotiation**, il processo tramite cui il server sceglie la forma "giusta" del contenuto richiesto dal client. (*Specificano da chi è fatta la richiesta, a chi viene fatta, che tipo di risposte il client è in grado di accettare, l'autorizzazione, ecc.*)
- **Response Headers:** sono relativi al **messaggio di risposta**.

```

general-header = Cache-Control
                | Connection
                | Date
                | Pragma
                | Transfer-Encoding
                | Upgrade
                | Via

```

Figure 28: L'elenco dei general headers.

```

request-header = Accept           | Accept-Charset
                | Accept-Encoding | Accept-Language
                | Authorization
                | Proxy-Authorization
                | From           | Host
                | If-Modified-Since
                | If-Unmodified-Since
                | If-Match       | If-None-Match
                | If-Range
                | Max-Forwards   | Range
                | Referer       | User-Agent

```

Figure 29: L'elenco dei request headers. **Accept** specifica quali tipi di media sono accettati in risposta dal client, **Accept-Charset**, quali caratteri e **Accept-Encoding** quali formati.

"100" - Continue	"101" - Switching Protocols
"200" - OK	"201" - Created
"202" - Accepted	"203" - Non-Authoritative Information
"204" - No Content	"205" - Reset Content
"206" - Partial Content	
"300" - Multiple Choices	"301" - Moved Permanently
"302" - Moved Temporarily	"303" - See Other
"304" - Not Modified	"305" - Use Proxy
"400" - Bad Request	"401" - Unauthorized
"402" - Payment Required	"403" - Forbidden
"404" - Not Found	"405" - Method Not Allowed
"406" - Not Acceptable	"407" - Proxy Authentication Required
"408" - Request Time-out	"409" - Conflict
"410" - Gone	"411" - Length Required
"412" - Precondition Failed	"413" - Request Entity Too Large
"414" - Request-URI Too Large	"415" - Unsupported Media Type
"500" - Internal Server Error	"501" - Not Implemented
"502" - Bad gateway	"503" - Service Unavailable
"504" - Gateway Time-out	"505" - HTTP Version not supported

Figure 30: In figura l'elenco degli status-codes e il loro significato.

```

response-header = Age
                | Location
                | Proxy-Authenticate
                | Public
                | Retry-After
                | Server
                | Vary
                | Warning
                | WWW-Authenticate

```

Figure 31: I campi del **response-header** consentono al server di inviare informazioni aggiuntive che non possono essere poste nella status-line. Ad esempio: **Age**: indica quanto tempo è trascorso, in secondi, tra l'invio della risposta da parte del mittente e la generazione della stessa all'origine. **Location** é usato per reindirizzare il client verso un'altra URI per completare la sua richiesta o per fornire una nuova risorsa. Il campo **Server** contiene informazioni sul software usato dal server di origine per portare a compimento la richiesta del client.

Fin'ora abbiamo mostrato come il client accede alle risorse del web inviando richieste al server. Cosa succederebbe se, ad esempio, un client richiedesse continuamente la **stessa** risorsa? Potremmo evitare di inoltrare richieste tutte uguali al server?

Sì, ci viene in aiuto il **web caching**. L'obiettivo del web caching è di soddisfare le richieste del client **senza** contattare il server. Funziona memorizzando **copie temporanee** di risorse web, servendole poi al client così da **ridurre** l'uso di **banda**, limitare il **workload** sul server e di conseguenza **diminuire tempo di risposta** verso gli altri clients.

Consideriamo due modelli possibili di web caching:

- **User Agent Cache**: lo **user agent** (il browser) mantiene una **copia** delle risorse visitate dall'utente.
- **Proxy Cache**: il **proxy intercetta il traffico** e mette in cache le risposte. Successive richieste alla stessa URI possono essere servite direttamente dal proxy senza inoltrare la richiesta al server. Sta poi all'utente configurare il browser per consentire gli accessi Web via proxy.

Cos'è un proxy?

Definizione 5.12. Un **proxy** è un **programma intermediario** che agisce sia da **server** che da **client**, **inviando e servendo richieste** per altri clients. Le richieste sono gestite internamente oppure sono girate a server terzi.

Resta ora da chiarire come è possibile che, sebbene abbiamo definito il protocollo HTTP come **stateless**, alcuni siti, *riconoscano* gli utenti. Sebbene infatti il protocollo HTTP sia a tutti gli effetti stateless, le applicazioni web **non** lo sono. Come fare quindi a conciliare queste due realtà?

Con i cookies!

Definizione 5.13. I **cookies** sono stringhe di testo contenenti informazioni relative all'utente.

I **cookies** funzionano nel seguente modo:

1. Un client invia al server una richiesta HTTP.
2. Il server invia al client la risposta HTTP e in più una linea **set-cookie: 1678453**. (*esempio fittizio*)
3. Il client **memorizza** il cookie in un file e lo associa al server. Lo aggiungerà con la seguente linea: **cookie: 1678453** a tutte le sue successive richieste.
4. Alla successiva richiesta da parte del client, il server **risalirà** tramite il cookie alle informazioni ad esso **associate**.