

Reti di Calcolatori e Laboratorio

Federico Matteoni

Indice

1	Introduzione	3	12	HTTP	17
			12.1	HTTP URL	17
			12.2	Caratteristiche	17
			12.2.1	Modello	17
			12.2.2	Connessioni	17
			12.3	Esempio HTTP	18
			12.4	Messaggi HTTP	18
			12.5	Header	19
			12.5.1	Request header	20
			12.6	HTTP Response	22
			12.6.1	Response Headers	22
			12.7	Negoziazione del contenuto	22
			12.7.1	Entity Headers	23
2	Rete	3	13	Web Caching	23
2.1	Tipi di Rete	3	14	Cookies	23
2.2	Internetwork	4	15	Telnet	24
2.3	Switching	4	15.1	Introduzione	24
3	Internet	5	15.2	Protocollo Telnet	24
3.1	Enti Ufficiali	5	15.3	NVT	25
3.2	Reti di accesso	6	15.4	Architettura	26
4	Metriche di Riferimento	6	15.5	Funzionamento	27
5	Modelli Stratificati	7	16	SSH	28
5.1	Perché stratificare	7	17	TCP Port Forwarding	28
5.2	Smistamento Intermedio	8	18	FTP	29
5.3	Elementi fondamentali	8	18.1	Modello FTP	29
5.4	Modalità di Servizio	8	18.1.1	Connessione di Controllo	29
5.5	Vantaggi	8	18.1.2	Connessione Dati	29
6	Protocolli	9	18.2	Altri Dettagli	30
6.1	Incapsulamento	9	18.2.1	Due Modalità	30
7	OSI RM (Open Systems Interconnction Reference Model)	9	18.2.2	Stateful	31
7.0.1	Pila di protocolli	9	18.2.3	Modalità di trasmissione	31
8	Flusso dell'Informazione	10	18.3	Anonymous FTP	31
9	Stack protocollare TCP/IP	11	19	DNS	32
9.1	I Livelli	11	19.1	Motivazioni	32
10	Livello Applicativo	12	19.2	Struttura	32
10.1	Protocollo a Livello Applicativo	12	19.3	Servizi	33
10.2	Paradigmi	12	19.4	Spazio dei nomi	33
10.3	Componenti di un'Applicazione di Rete	12	19.4.1	Indirizzi	33
10.4	Terminologia	13	19.4.2	Nomi	33
10.5	Identificazione di un Processo	13	19.4.3	Top-Level Domains	35
10.6	Esempio di API: TCP	13	19.4.4	Struttura di un nome alfanumerico	35
10.7	Uso dei Servizi di Trasporto	14	19.5	Conversione	36
11	Applicazioni Web e HTTP	15	19.5.1	Name Servers	36
11.1	Terminologia	15	19.5.2	Root Name Servers	37
11.2	Uniform Resource Identifier	15			
11.2.1	Sintassi	16			
11.2.2	Absolute e Relative	16			

19.5.3 Gerarchia dei server	37	20.13 Formato messaggi mail	47
19.6 Risoluzione dei nomi	38	20.14 Estensioni multimediali	48
19.7 Caching e Aggiornamento Record	39	20.14.1 MIME	48
19.8 Record DNS	39	20.14.2 Tipi MIME	49
19.9 Messaggi DNS	39	20.15 Protocolli di accesso alla mail	49
20 SMTP	41	21 Livello di Trasporto	50
20.1 Agenti Utente	41	21.1 Obiettivi	50
20.2 Mail Server	41	21.2 Caratteristiche	51
20.3 Schema di principio	42	21.3 Servizi offerti	51
20.4 Indirizzo	42	22 UDP	51
20.5 Gestione Alias	43	22.1 Proprietà	51
20.6 Modello di riferimento	44	22.2 Datagramma UDP	52
20.7 Simple Mail Transfer Protocol	44	22.3 Calcolo del checksum	52
20.8 SMTP Mail Relaying	44	22.4 TCP vs UDP	53
20.9 Modello SMTP	45	23 TCP	54
20.9.1 Fallimenti nella consegna	45	23.1 Proprietà	54
20.10 Protocollo	45	23.2 Funzioni del segmento TCP	54
20.11 Comandi SMTP	46		
20.12 Esempio	46		

1 Introduzione

Appunti del corso di **Reti di Calcolatori** presi a lezione da **Federico Matteoni**.

Prof.: **Federica Paganelli**, federica.paganelli@unipi.it

Riferimenti web:

- elearning.di.unipi.it/enrol/index.php?id=169
Password: **RETI2019**

Esame: scritto (o compitini), discussione orale facoltativa + progetto con discussione (progetto + teoria di laboratorio, progetto da consegnare 7gg prima della discussione)

Libri e materiale didattico:

- Slide su eLearning
- IETF RFC
tools.ietf.org/rfc
www.ietf.org/rfc.html
- "Computer Networks: A Top-Down Approach" B. A. Forouzan, F. Mosharraf, McGraw Hill

Ricevimento: stanza 355 DO, II piano

2 Rete

Definizione di rete Interconnessione di dispositivi in grado di scambiarsi informazioni, come end system, router, switch e modem.

Gli end system possono essere di due tipi:

Host: una macchina, in genere di proprietà degli utenti, **dedicata ad eseguire applicazioni**. Esempi: desktop, portatile, smartphone, tablet...

Server: una macchina, tipicamente con elevate prestazioni, destinata ad eseguire programmi che **forniscono servizi** a diverse applicazioni utente. Esempi: posta elettronica, web, ...

Con il termine **host** si può anche indicare un **server**.

2.1 Tipi di Rete

Local Area Network Una **LAN** è una **rete di area geografica limitata**: un ufficio, una casa ecc.. I dispositivi comunicano attraverso una determinata tecnologia: switch, BUS, HUB ecc..

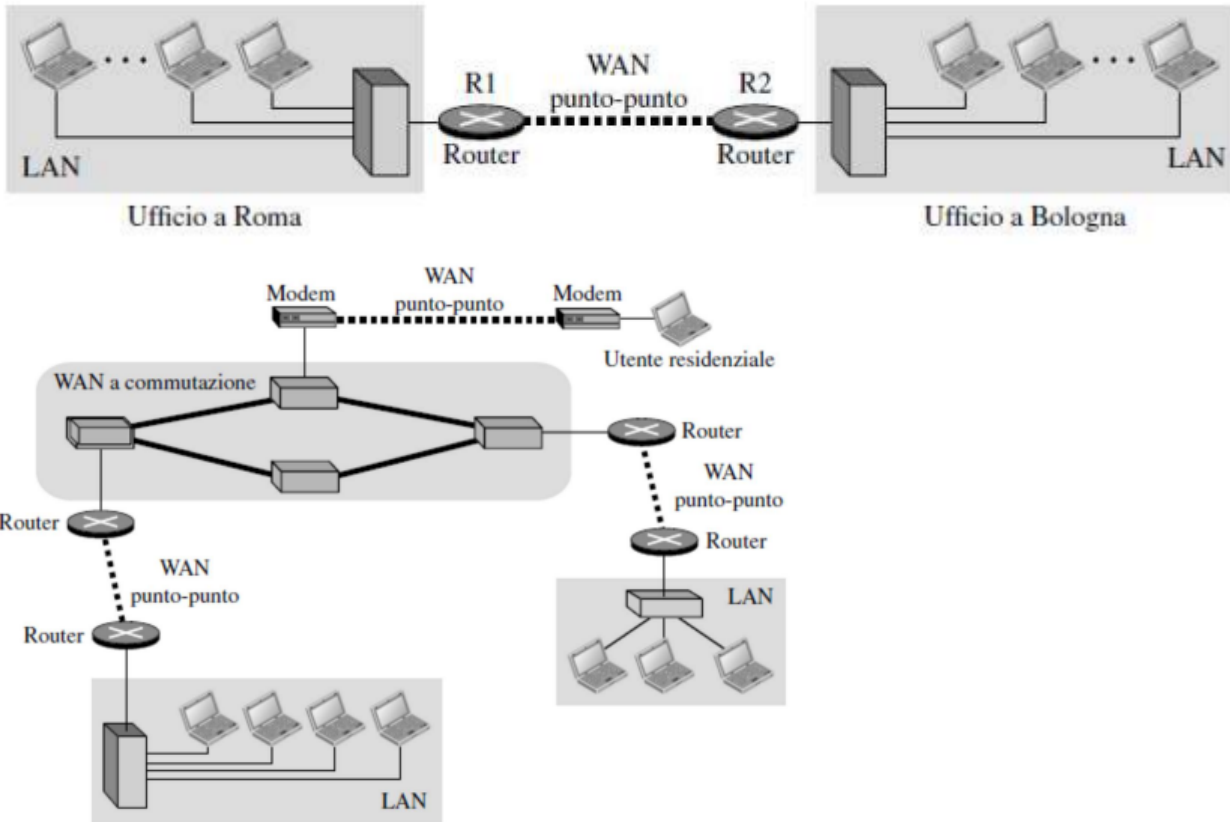
In una rete locale tipicamente una serie di host comunicano tra loro attraverso, ad esempio, uno switch centrale.

Wide Area Network Alcuni esempi:



2.2 Internetwork

Una **internetwork** si crea quando si **interconnettono diverse reti**. Alcuni esempi:



2.3 Switching

Una rete internet è formata dall'interconnessione di reti composte da link e dispositivi capaci di scambiarsi informazioni. In particolare, i sistemi terminali comunicano tra di loro per mezzo di dispositivi come switch, router ecc. che si trovano nel percorso tra i sistemi sorgente e destinazione.

Switched Network Reti a commutazione di circuito, tipico delle vecchie reti telefoniche

Le risorse sono riservate end-to-end per una connessione. Le risorse di rete (es. bandwidth) vengono suddivise in pezzi, e ciascun pezzo è allocato ai vari collegamenti. Le risorse rimangono inattive se non vengono utilizzate, cioè **non c'è condivisione**. L'allocazione della rete rende necessario un setup della comunicazione.

A tutti gli effetti vi è un circuito dedicato per tutta la durata della connessione. Ciò rende poco flessibile l'utilizzo delle risorse (**overprovisioning**).

Packet-Switched Network Reti a commutazione di pacchetto, più moderno

Flusso di dati punto-punto suddiviso in pacchetti. I pacchetti degli utenti condividono le risorse di rete. Ciascun pacchetto utilizza completamente il canale.

Store and Forward: il commutatore deve ricevere l'intero pacchetto prima di ritrasmetterlo in uscita.

Le risorse vengono usate **a seconda delle necessità**. Vi è **contesa per le risorse**: la richiesta di risorse può eccedere la disponibilità e si può verificare **congestione** quando i pacchetti vengono accodati in attesa di utilizzare il collegamento. Si possono anche verificare perdite.

3 Internet

L'internet più famosa ed utilizzata è **internet**, ed è composta da migliaia di reti interconnesse. **Ogni rete** connessa ad internet **deve utilizzare il protocollo IP** e rispettare certe convenzioni su nomi ed indirizzi. Si possono aggiungere nuove reti ad internet molto facilmente.

Dispositivi in internet I **dispositivi** connessi ad internet possono essere host, end systems come PC, workstations, servers, pda, smartphones ecc. . .

I **link di comunicazione** possono essere fibre ottiche, doppiini telefonici, cavi coassiali, onde radio. . . Le **entità software** in internet possono essere:

Applicazioni e processi

Protocolli: regolamentano la trasmissione e la ricezione di messaggi (TCP, IP, HTTP, FTP, PPP. . .)

Interfacce

Standard di internet e del web: RFC (Request for Comments) e W3C.

Internet è una visione dei servizi. L'infrastruttura di comunicazione permette alle applicazioni distribuite di scambiare informazioni (WWW, e-mail, giochi, e-commerce, controllo remoto. . .) e fornisce loro **servizi di comunicazione connectionless** (senza garanzia di consegna) o **connection-oriented** (dati garantiti in integrità, completezza ed ordine).

3.1 Enti Ufficiali

L'**Internet Engineering Task Force** (IETF) è l'organismo che studia e sviluppa i protocolli in uso su internet. Si basa su gruppi di lavoro a cui chiunque può accedere. I documenti ufficiali che pubblica, dove descrivono i protocolli usati in internet, sono gli RFC/STD (Request for Comments/STanDards).

L'**Internet Corporation for Assigned Names and Numbers** (ICANN) si occupa di coordinare il sistema dei **nomi di dominio** (DNS) e assegna i gruppi di indirizzi, gli identificativi di protocollo.



Peering point: interconnessione tra due sistemi autonomi

3.2 Reti di accesso

Il collegamento tra l'utente ed il primo router di internet è detto **rete di accesso**. Può avvenire in 3 modi:

Tramite rete telefonica: servizio dial-up, ADSL...

Tramite reti wireless

Collegamento diretto, come collegamenti WAN dedicati ad alta velocità (aziende e università)

4 Metriche di Riferimento

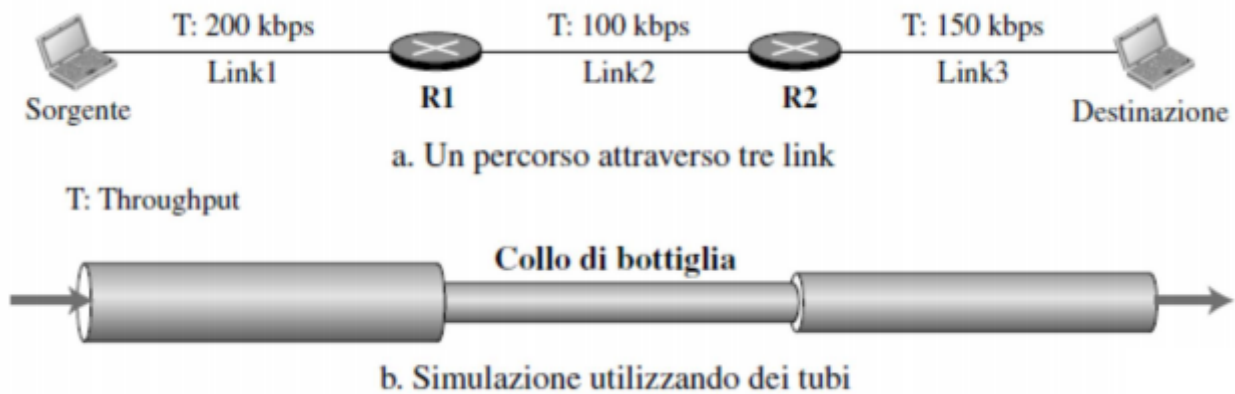
Come misurare le prestazioni della rete? Tramite una serie di metriche:

Bandwidth o ampiezza di banda: è la larghezza dell'intervallo di frequenze utilizzato dal sistema trasmissivo (Hz).

Bitrate o **transmission rate**: quantità di bit che possono essere trasmessi o ricevuti nell'unità di tempo (bit/secondo, bps)

Il bitrate dipende dalla bandwidth e dalla tecnica trasmissiva utilizzata.

Throughput: la quantità di traffico che arriva realmente a destinazione nell'unità di tempo (al netto di perdite sulla rete, funzionamento dei protocolli ecc...).

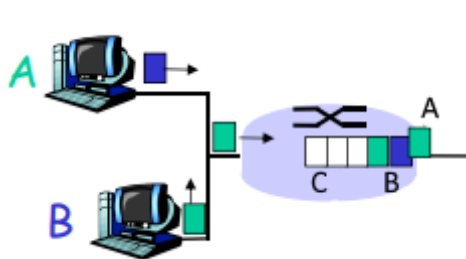


Non è detto che corrisponda alla bandwidth perché ci potrebbe essere un collo di bottiglia.

Latenza o ritardo: il tempo richiesto affinché un messaggio arrivi a destinazione dal momento in cui il primo bit parte dalla sorgente.

latenza = ritardo di propagazione + ritardo di trasmissione + ritardo di accodamento + ritardo di elaborazione

Perdita di pacchetti. Come si può verificare?



A → pacchetti **in attesa** di essere trasmessi (*ritardo*)

B → pacchetti **accodati** (*ritardo*)

C → buffer **liberi** (se non ci sono buffer liberi, i pacchetti in arrivo vengono scartati, *perdita*)

I pacchetti da spedire vengono accodati nei buffer dei router. Di solito, il tasso di arrivo dei pacchetti sul router eccede le capacità del router di evaderli, quindi i **pacchetti si accodano in attesa del proprio turno**.

Il **ritardo di elaborazione** è dato dal controllo sui bit e dalla determinazione del canale di uscita (trascurabile)

Il **ritardo di accodamento** è dato dall'attesa di un pacchetto di essere trasmesso (B)

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

$R_{trasmissione} = R/L$

R = rate di trasmissione del collegamento, in bps

L = lunghezza del pacchetto in bit

Il **ritardo di propagazione** è il tempo impiegato da 1 bit per essere propagato da un nodo all'altro.

$R_{propagazione} = d/s$

d = lunghezza del collegamento

s = velocità di propagazione del collegamento (si usa la velocità della luce, circa 3×10^8 m/s)

$d_{nodal} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}$

d_{proc} = **ritardo di elaborazione**, pochi microsecondi

d_{queue} = **ritardo di accodamento**, dipende dalla congestione

d_{trans} = **ritardo di trasmissione**, L/R e significativo a lunga distanza

d_{prop} = **ritardo di propagazione**, d/s, da pochi microsecondi a centinaia di millisecondi

5 Modelli Stratificati

https://elearning.di.unipi.it/pluginfile.php/27387/mod_resource/content/1/L02_introduzione_protocolli.pdf

Perché usare un modello a strati Per mandare dei dati da un host ad un altro comunicando su una rete, si devono eseguire una **serie di operazioni**: **trovare il percorso** di rete da attraversare, **decidere in che modo spedire e codificare** i dati, **risolvere eventuali problemi** di comunicazione e altro ancora.

Programmare ogni volta tutto il procedimento è un **lavoro estremamente complesso** e ripetitivo. Un modello a strati **astrae su più livelli il problema della trasmissione dati** in modo da fornire di volta in volta strumenti utili al programmatore per poter evitare di *"reinventare la ruota"*.

Definizioni generali Nelle architetture di comunicazione a strati sono importanti una serie di definizioni:

- Stratificazione
- Information hiding
- Separation of concern
- Modello ISO/OSI
- Stack TCP/IP

Tali definizioni verranno viste durante il corso.

Lo Strato Uno **strato** è un **modulo interamente definito** attraverso i servizi, le interfacce e i protocolli che lo caratterizzano. Si indica anche col nome di livello.

Uno strato **n comunica direttamente** con lo strato **n** di un'altra unità tramite un **protocollo assegnato**. Lo stesso strato **n** può richiedere servizi allo strato **n-1** attraverso la **loro interfaccia**, e fornisce servizi allo strato **n+1** attraverso la **rispettiva interfaccia**.

Es. modello stratificato: sistema postale Vedi slide

https://elearning.di.unipi.it/pluginfile.php/27387/mod_resource/content/1/L02_introduzione_protocolli.pdf, 48

Dal livello più alto al livello più basso per la spedizione, viceversa per la ricezione. Un problema importante che si incontra quando si manda una lettera, ad esempio, dall'Italia al Giappone è la traduzione. In una **serie di passi**, in cui in ognuno viene **eseguito un particolare compito su un messaggio**, che viene poi **trasferito ad un altro livello**. Nell'esempio, la segretaria prepara lettera (traduce in giapponese e imbusta) affinché il postino la possa prendere. Però il "messaggio" della segretaria è "scritto" per essere interpretato dalla segretaria giapponese, il direttore italiano scrive per il direttore giapponese. **Messaggi di un livello del sistema che spedisce sono scritti per essere interpretati dal medesimo livello del sistema ricevente.**

5.1 Perché stratificare

La stratificazione è molto utile per **scomporre il sistema complesso della gestione della comunicazione**. Prendo un sistema estremamente costoso da costruire per una singola coppia di aziende, quindi lo trasformo in strati così che il costo della singola lettera sia irrisorio.

Definisco funzioni di base per effettuare trasferimento e agenti che le svolgono. Principi di base:

Separation of Concern

Far fare ad un determinato strato solo ciò che gli compete, delegando agli altri tutto ciò che è delegabile

Information Hiding

Nascondo ad un determinato strato le informazioni non indispensabili allo svolgere della sua operazione.

Esempio Se traduco il modello postale nel modello a strati ho, ad esempio:



5.2 Smistamento Intermedio

Spedire un pacchetto che è destinato ad determinato livello intermedio. Quindi **arrivo fino al corrispondente livello intermedio per evitare che si possano esporre info sensibili.**

5.3 Elementi fondamentali

Gli **elementi fondamentali** del modello stratificato sono:

Flusso dati

Servizio: una **funzione** che uno strato offre allo strato superiore, attraverso un'interfaccia.

Protocollo

Interfaccia: **insieme di regole** che governano il formato e il significato dei frame, pacchetti o messaggi che vengono **scambiati tra strati adiacenti della stessa entità.**

I **servizi** indicano *cosa* si può fare, le **interfacce** regolano *come* si può fare.

5.4 Modalità di Servizio

I **dati** possono essere scambiati in due modalità diverse:

Connection-Oriented: il livello di trasferimento stabilisce una **connessione logica** tra due sistemi. La connessione è quindi **gestita**:

- **Instaurazione** della connessione
- **Trasferimento** dei dati
- **Chiusura** della connessione

Connectionless: i dati vengono **trasferiti senza stabilire una connessione.**

5.5 Vantaggi

Il vantaggio più grosso è che **sviluppare il singolo strato è più semplice ed economico rispetto a sviluppare tutto il sistema complesso.** Questo perché i **servizi degli strati inferiori** vengono usati da più entità che implementano gli strati superiori.

6 Protocolli

Cos'è un protocollo Un **protocollo** è un **insieme di regole** che dice come comunicare ed esporre dati verso l'esterno. I protocolli **definiscono il formato e l'ordine dei messaggi inviati e ricevuti, con le azioni per trasmettere e ricevere tali messaggi.**

6.1 Incapsulamento

Processo in cui **aggiungo strati, "involucri"** al messaggio originale **che vengono man mano tolti alla destinazione.**

7 OSI RM (Open Systems Interconnction Reference Model)

Le prime reti erano chiuse, composte da tecnologie e protocolli proprietari. Alcuni esempi sono ARPANET, SNA (IBM), DNA (Digital). Non potevano intercomunicare tra loro, perché usavano **protocolli diversi**, erano costruite per servizi specifici (TELCO). Insorse quindi un obiettivo: creare un **modello di riferimento per sistemi aperti**, per permettere a qualsiasi terminale di poter comunicare mediante qualsiasi rete. C'era quindi necessità di **accordarsi sulle regole.**

OSI L'OSI è una **collezione di protocolli aperti**: questo significa che i loro **dettagli sono pubblici** e i **cambiamenti vengono gestiti da un'organizzazione con partecipazione aperta al pubblico.** Un sistema che implementa i protocolli aperti è un **sistema aperto.**

7.0.1 Pila di protocolli

L'OSI prevede **sette strati di protocolli**:

- 7. Applicativo:** elaborazione dei dati
- 6. Presentazione:** unificazione dei dati, preparazione del **pacchetto** da trasmettere/ricevere
- 5. Sessione:** controllo del dialogo tra gli host sorgente e destinazione.
- 4. Trasporto:** offre il vero e proprio trasferimento dati tra gli host terminali, cioè **astrae la logica** con la quale si scambiano i dati tra host e gestisce gli errori. Realizza il **dialogo end-to-end.**
- 3. Rete:** instradamento del traffico (principalmente router, offre il servizio di consegna attraverso il sistema distribuito dei nodi intermedi).
- 2. Datalink:** consegna il frame tra le interfacce, interpretato dalla scheda di rete.
- 1. Fisico:** modulazione del segnale elettrico per trasmettere correttamente il flusso di bit sul mezzo fisico.

I livelli **7-5** si possono raggruppare in più modi, principalmente sono gli strati di supporto all'elaborazione e all'interazione con l'utente. Sono livelli **software**

I livelli **4-1** sono **software e hardware.** Sono strati di supporto alla rete e all'infrastruttura trasmissiva, cioè gestiscono la vera e propria trasmissione dei dati.

8 Flusso dell'Informazione

Per le reti, l'informazione ha origine al **livello applicativo**, che la genera per mandarla in remoto. Una volta generata, essa discende i vari livelli fino al canale fisico e ogni livello **aggiunge** all'informazione ricevuta dal livello superiore **una – o più – propria sezione informativa** sotto forma di **header**, contenente informazioni esclusive di quel livello. Per l'informazione ricevuta, si segue il **cammino inverso**, quindi dal basso verso il livello applicativo, e ogni livello "spacchetta" l'header del livello corrispondente, ne legge le informazioni esclusive e lo gestisce appositamente.

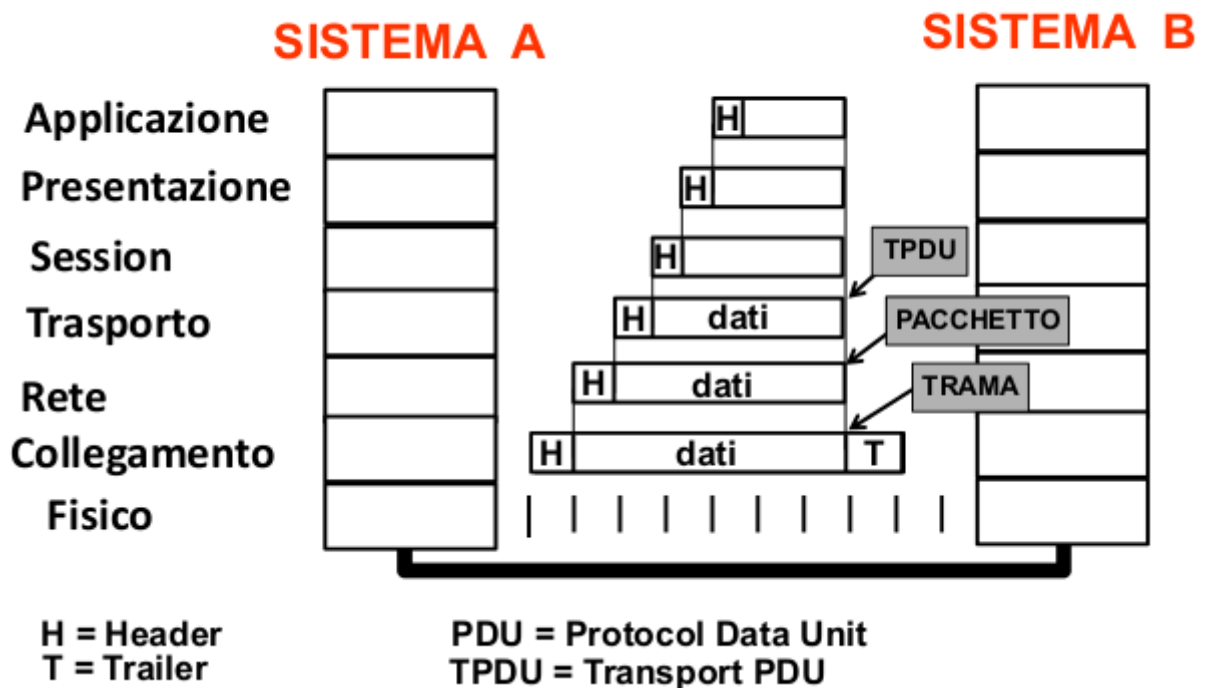
Il **processo di incapsulamento** è quindi **reversibile**: ogni livello esegue una operazione di incapsulamento su dati già incapsulati dal livello precedente, in modo tale da garantire la possibilità di estrarre i dati precedentemente incapsulati.

HEADER — DATA — TRAILER

Header: qualificazione del pacchetto per questo livello

Data: payload proveniente dal livello superiore

Trailer: generalmente usato in funzione del trattamento dell'errore



9 Stack protocollare TCP/IP

Il **TCP/IP** è una famiglia di protocolli attualmente utilizzati in internet. Si tratta di una **gerarchia di protocolli** costituita da **moduli interagenti**, ciascuno con funzioni specifiche.

Gerarchia Con il termine **gerarchia** s'intende che ciascun protocollo di livello superiore è **supportato dai servizi forniti dai protocolli di livello inferiore**. Cioè un protocollo a livello **n** realizza le sue funzionalità grazie ai protocolli a livello **n-1**.

9.1 I Livelli

Lo stack TCP/IP in origine era intesa come **quattro livelli software** sovrastanti **un livello hardware**. Oggi è intesa come semplicemente **composta da 5 livelli**

Livello Applicativo Il livello più alto, con il quale interagisce l'utente

Identificativi risorse: URL, URI, URN

Il web: user agents, http: request, response, connessioni persistenti, GET, POST, PUT, DELETE, status code, proxy server, caching

FTP: connessioni dati e di controllo, rappresentazione TELNET

Posta elettronica: SMTP, POP3, IMAP

DNS e risoluzioni nomi: gerarchia nomi, risoluzione iterativa e ricorsiva, formato messaggi, nslookup...

Livello Trasporto Livello al quale si definisce la codifica e il protocollo di trasporto

Servizi: mux demux, controllo errore, connectionless

TCP: formato segmenti, gestione connessione, controllo flusso e congestione

UDP: formato segmenti

Livello Rete Dove si gestisce l'indirizzamento dei vari host

Strutture di rete e funzioni

Indirizzamento IP: classful IPv4, NAT, sottoreti e maschere, classless, CIDR

Risoluzione IP e MAC, ARP

IPv4: formato datagramma ip, frammentazione

Routing IP e instradamento

Introduzione IPv6

Livello Link Trasferimento dati tra elementi di rete vicini

Ethernet

Livello Fisico Bit sul filo



10 Livello Applicativo

Applicazioni e processi Le applicazioni possono essere composte da **vari processi distribuiti** comunicanti fra loro. Un **processo** sono programmi eseguiti degli host di una rete. Due processi possono anche comunicare all'interno dello stesso host attraverso la **comunicazione inter-processo** (definita dal S.O.).

Nella **comunicazione a livello applicativo fra due host di una rete**, due o più processi vengono eseguiti da ciascuno degli host comunicanti e **si scambiano messaggi**.

I livelli applicazione dei due host **si comportano come se esistesse un collegamento diretto** attraverso cui mandare e ricevere messaggi.

10.1 Protocollo a Livello Applicativo

Un protocollo di livello applicativo **definisce**:

Tipi di messaggi scambiati a quel livello, ad esempio di richiesta o di risposta

Sintassi dei vari tipi di messaggi, cioè i campi

Semantica dei campi

Regole per determinare quando e come un processo invia o risponde ai messaggi

10.2 Paradigmi

I due programmi applicativi devono essere entrambi in grado di richiedere e offrire servizi oppure ognuno deve occuparsi di uno dei due compiti?

Client-Server Un **numero limitato** di **processi server** che **offrono** un servizio, in esecuzione **in attesa di richieste** dai **processi client**, che **richiedono** servizi.

Client *Parla per primo*, cioè inizia il contatto con il server. Tipicamente richiede un servizio al server, ad esempio: per il web il client è implementato nel browser, per l'e-mail è implementato nel mail reader.

Server Fornisce al client il servizio richiesto e **rimane sempre attivo**. Ad esempio: un web server invia le pagine richieste, un mail server smista ed invia le mail.

Peer-to-Peer Host **peer** che possono **offrire servizi e inviare richieste**.

Misto Un misto tra i due paradigmi sopra.

10.3 Componenti di un'Applicazione di Rete

Due esempi

Web Composto da:

- Web Browser, sul **client**
- Web **Server**
- **Standard per il formato** delle risorse (pagine ecc.)
- **Protocollo HTTP**

Posta Elettronica Composta da:

- Programmi di lettura e scrittura sul **client**
- **Server** di posta in internet
- **Standard per il formato** dei messaggi
- **Protocolli** SMTP, POP3 ecc.

10.4 Terminologia

API Application Programming Interface: si tratta di un **insieme di regole** che un programmatore deve rispettare per utilizzare delle risorse.

Socket Una **API** che funge da **interfaccia** tra gli strati di applicazione e di trasporto. A tutti gli effetti è la **API di internet per eccellenza**, due processi comunicano mandando dati sul socket e leggendoli da esso. Forma una **connessione logica**, l'invio e ricezione dei dati sono responsabilità del S.O. e del TCP/IP.

10.5 Identificazione di un Processo



I servizi di trasporto sono offerti al livello applicativo tramite le API. Ogni servizio di transport è **usato simultaneamente** da più processi application.

Come identifico i processi di livello application **di host diversi**? Serve un identificativo che identifichi sia l'host che il processo.

→ Coppie <Indirizzo IP, Numero di porta>



10.6 Esempio di API: TCP

```
Connection TCPopen(IPAddress, int)           //per aprire una connessione
void TCPsend(Connection, Data)                //per spedire dati su una connessione
Data TCPreceive(Connection)                   //per ricevere dati da una connessione
void TCPclose(Connection)                     //per chiudere una connessione
int TCPbind(int)                              //per richiedere l'assegnazione della porta su
                                              //cui attendere le richieste di connessione

void TCPunbind(int)                           //per liberare la porta assegnata
Connection TCPaccept(int)                     //per attendere le richieste di connessione

//Connection: identificata da una quadrupla
//Astraggo dalle possibili eccezioni sollevate e dal loro trattamento
```

10.7 Uso dei Servizi di Trasporto

Una coppia di processi fornisce servizi agli utenti di Internet, siano questi persone o applicazioni. La coppia di processi, tuttavia, **deve utilizzare i servizi offerti dal livello di trasporto** per la comunicazione, poiché non vi è una comunicazione fisica a livello applicativo. Le applicazioni di rete sono quindi **realizzate sopra ai servizi di trasporto dati**.

Nel livello trasporto dello stack protocollare TCP/IP sono previsti **due protocolli di trasporto principali**:

TCP Transfer Control Protocol

Connection-Oriented: è richiesto un setup tra client e server

Trasporto **affidabile** tra mittente e destinatario

Controllo del flusso: il mittente non *inonderà* di dati il destinatario

Controllo di congestione: *limita* il mittente quando la rete è satura

Non offre garanzie di timing né di ampiezza minima di banda

UDP User Datagram Protocol

Connectionless

Trasporto **non affidabile**

NO controllo del flusso

NO controllo di congestione

NO garanzie di timing o di ampiezza minima di banda

Quindi quali applicazioni usano UDP, e perché?

Che tipo di trasporto richiede un'applicazione?

Throughput Anche detta **banda**, è la frequenza alla quale il processo mittente può inviare i bit al processo ricevente. Alcune applicazioni (es. multimedia) richiedono una **banda minima** per essere efficaci, altri (**elastic apps**) usano la banda che trovano a disposizione.

Velocità di trasferimento \neq velocità di propagazione

Perdita di dati Alcune applicazioni (es. audio) possono tollerare alcune perdite, altre (es. telnet, trasferimento file) richiedono un trasferimento dati **affidabile** al 100

Timing Alcune applicazioni (es. teleconferenze, videogame) richiedono un basso ritardo per essere efficaci

Applicazione	Tolleranza alla perdita 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	Si	Audio: 5Kbps – 1 Mbps Video: 10Kbps – 5MKbps	Si, centinaia di millisecondi
Audio/Video memorizzati	Si	Audio: 5Kbps – 1 Mbps Video: 10Kbps – 5MKbps	Si, pochi secondi
Videogame	Si	Fino a pochi Kbps	Si, centinaia di millisecondi
Messaggistica istantanea	No	Variabile	Si e no

Applicazione	Protocollo a Livello Applicativo	Protocollo di Trasporto
Posta Elettronica	SMTP (RFC 2821)	TCP
Accesso a terminali remoti	Telnet (RFC 854)	TCP
Web	HTTP (RFC 2616)	TCP
Trasferimento file	FTP (RFC 959)	TCP
Streaming multimediale	HTTP (es. YouTube), RTP (RFC 1889)	TCP o UDP
Telefonia internet	SIP, RTP, proprietario (es. Skype)	Tipicamente UDP

11 Applicazioni Web e HTTP

11.1 Terminologia

WEB Consiste di *oggetti* indirizzati da un **URL** (Uniform Resource Locator)

Pagine Web Solitamente formate da: *pagine WEB* (HTML, Javascript...) e diversi **oggetti referenziati** (altre pagine, immagini, script...)

Browser Lo user agent per il web, ad esempio: Chrome, Firefox, Netscape, Lynx

Web server Il server per il web, ad esempio: Apache, MS Internet Information Server

11.2 Uniform Resource Identifier

Una **URI** è una **forma generale per identificare una risorsa presente sulla rete** (IETF RFC 2396: *una Uniform Resource Identifier è una stringa compatta di caratteri usata per identificare una risorsa astratta o fisica*).

La sintassi di uno URI è stata progettata ponendo la **trascrivibilità globale** come uno degli obiettivi principali: utilizza caratteri da un **alfabeto molto limitato** (es. le lettere dell'alfabeto latino base, numeri e qualche carattere speciale).

Uno URI può essere **rappresentato in molti modi**, ad esempio: inchiostro su carta, pixel su schermo, sequenza di ottetti... L'**interpretazione di uno URI dipende soltanto dai caratteri utilizzati e non da come essi vengono rappresentati** nel protocollo di rete.

Uniform **Uniformità della sintassi** dell'identificatore, anche se i meccanismi per accedere alle risorse possono variare.

Resource Qualsiasi cosa abbia un'identità: documento, servizio, immagine, collezione di risorse...

Identifier Oggetto che può agire da riferimento verso qualcosa che ha identità

Esistono due tipi di URI:

URL Uniform Resource Locator: sottotipo di URI che identifica una risorsa attraverso il suo **meccanismo di accesso primario**, ad esempio la *posizione* nella rete.

Esempi:

URL `https://doi.org/10.1109/LCN.1988.10239`

URL `ftp://ftp.is.co.za/rfc/rfc1808.txt`

URL `https://www.apple.com/index.html`

URN Uniform Resource Name: sottotipo di URI che devono essere **globalmente univoci e persistenti**, anche quando la risorsa cessa di esistere o di essere disponibile.

Esempi:

URN `urn:oasis:names:specification:docbook:dtd:xml:4.1.2:`

URN `urn:doi:10.1109/LCN.1988.10239`

11.2.1 Sintassi

La sintassi di un URI è **organizzata gerarchicamente**, con le componenti **elencate in ordine decrescente** di importanza da sinistra a destra.

Una **URI assoluta** può essere formata da **quattro** componenti

`<scheme>://<authority><path>?<query>`

`<scheme>` **Obbligatorio**, schema per identificare la risorsa.

Lo URI scheme **definisce il namespace** dello URI, quindi potrebbe porre ulteriori vincoli su sintassi e semantica degli identificatori che usano quello schema. Nonostante molti URL scheme prendono il nome da protocolli, **questo non implica che l'unico modo di accedere** la risorsa dello URL **sia attraverso il protocollo specificato**.

`<authority>` Elemento gerarchico per richiamare un'authority così che la gestione del namespace definito sia delegato a quella authority. Il **nome di dominio** di un host o il suo **indirizzo IP** in notazione puntata decimale.
`authority = [userinfo@]host[:port]`

`<path>` Contiene dati specifici per l'authority (o lo scheme) e **identifica la risorsa nel contesto** di quello schema e di quella autorità. Può consistere in una sequenza di segmenti.

`<query>` L'interrogazione o i dati da passare alla risorsa richiesta

Esempi:

```
foo://example.com:8042/over/there?name=ferret#nose
```

```
    scheme = foo
```

```
    authority = example.com:8042
```

```
    path = /over/there
```

```
    query = name=ferret
```

```
    fragment = nose
```

```
urn:example:animal:ferret:nose
```

```
    scheme = urn
```

```
    path = example:animal:ferret:nose
```

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

```
    scheme = http
```

```
    authority = maps.google.it
```

```
    path = /maps/place
```

```
    query = q=largo+bruno+pontecorvo+pisa&hl=it
```

11.2.2 Assolute e Relative

Le URI possono essere assolute o relative.

URI Assoluta Identifica una risorsa **indipendentemente dal contesto** in cui è usata.

URI Relativa Informazioni per **identificare una risorsa in relazione ad un'altra URL** (è priva di scheme e authority). **Non viaggiano sulla rete**, sono interpretate dal browser in relazione al documento di partenza.

Esempio di URI relativa Sia `http://a/b/c/d;p?q` il documento di partenza, allora

```
g = http://a/b/c/g
/g = http://a/g
//g = http://g
?y = http://a/b/c/?y
#s = documento corrente#s
g;x?y#s = http://a/b/c/g;x?y#s
.. = http://a/b/
../../g = http://a/g
```

12 HTTP

Lo HTTP è usato dal 1990 come **protocollo di trasferimento per il World Wide Web**. Definito nel seguente modo (RFC 2068, RFC 2616): *procollo di livello applicazione per sistemi di informazione distribuiti, collaborativi ed impermediali*.

Protocollo **generico**, **stateless** e **object-oriented** che può essere usato per molte attività, come name server e sistemi distribuiti di gestione oggetti, attraverso l'estensione dei suoi **request methods** (comandi). Una funzionalità dell'HTTP è la rappresentazione del tipo di dati, consentendo al sistema di essere **costruito indipendentemente dai dati che vengono trasferiti**.

12.1 HTTP URL

Lo schema `http` è usato per accedere alla risorsa attraverso il protocollo HTTP.

Sintassi La sintassi per un URL `http` è:

`http_URL = http://host[:port] [path]`

Host: un dominio, hostname o indirizzo IP in forma decimale puntata di Internet.

Porta: un numero, se omessa viene usata la porta 80.

La risorsa è localizzata nel server in ascolto per connessioni TCP su quella porta di quell'host. Il path specifica la **Request-URI**.

12.2 Caratteristiche

Il protocollo HTTP è un protocollo **request/response**: la **connessione** viene **iniziata dal client**, che invia un **messaggio di request** al quale il server risponde con una **response**.

In quanto **generico** e **stateless** le coppie **richiesta/risposta** sono **indipendenti**.

12.2.1 Modello

Il modello del protocollo HTTP è **client-server**:

Client: browser che richiede, riceve e visualizza oggetti web.

Stabilisce una connessione con il server e invia una **richiesta sotto forma di request-method, URI e versione di protocollo**, seguito da un messaggio.

Server: web server che invia oggetti in risposta ad una richiesta.

Accetta le connessioni e serve le richieste rispondendo con i dati richiesti.

12.2.2 Connessioni

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

Non-Persistent Connection http1.0: RFC 1945

Viene stabilita una **connessione TCP separata** per raggiungere ogni URL. **Aumenta il carico** sui server HTTP e **può causare congestioni su Internet** (questo perché, ad esempio, se vengono usate tante immagini allora si creano richieste multiple del solito server in un breve lasso di tempo).

Persistent Connection http1.1: RFC 2616

Se non è indicato altrimenti, il client può **assumere che il server manterrà una connessione persistente**. Lo standard specifica un **meccanismo con il quale** un client o un server **può segnalare la chiusura di una connessione TCP** (il campo `connection` nell'header). Una volta che la chiusura viene segnalata, il cliente **non deve più mandare richieste** su quella connessione.

12.3 Esempio HTTP

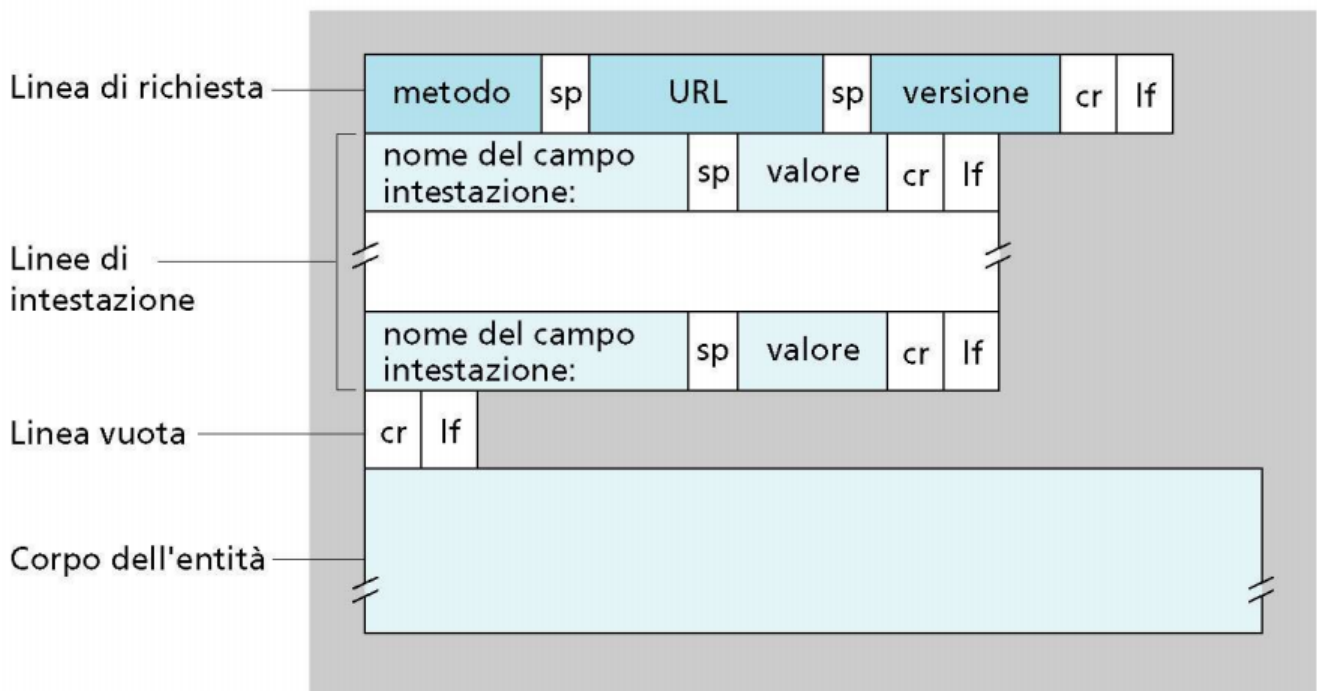
Vedi [slide](#)¹

12.4 Messaggi HTTP

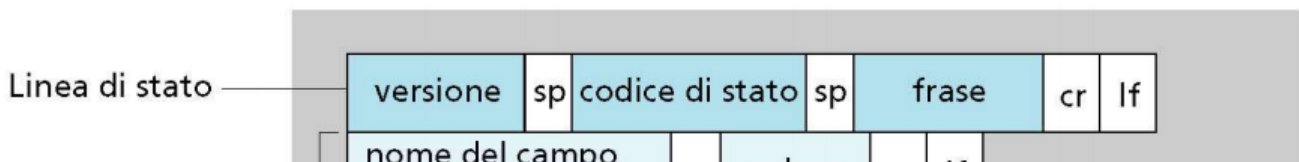
```
generic-message = start-line *message-header CRLF [message-body]
start-line = Request-Line | Status-Line
```

La start-line distingue **request** da **response**.

HTTP Request Message



HTTP Response Message



¹https://elearning.di.unipi.it/pluginfile.php/27477/mod_resource/content/2/L03_Applicativo_HTTP.pdf, slide 34

HTTP Request Request-Line *(general-header | request-header | entity-header) CRLF [message-body]

Ad esempio:

```
GET /pub/WWW/TheProject.html HTTP/1.1
```

```
Host: www.w3.org
```

```
Connection: close
```

```
User Agent: Mozilla/4.0
```

```
Accept-language: it
```

(Body)

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

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

Method = GET

Request-URI = http://www.w3.org/pub/WW/TheProject.html

HTTP-Version = HTTP/1.1

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

Method: indica il **metodo che deve essere eseguito** sulla risorsa identificata dal Request-URI. **Case sensitive.**

HTTP-Version: indicare la versione del protocollo è pensato per consentire al mittente di indicare il formato di un messaggio e la sua capacità di capire il resto della comunicazione HTTP.

Le **URI** sono stringhe formattate in modo semplice che identificano una risorsa di rete.

12.5 Header

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

General header Relativi alla trasmissione

Data: data e ora di generazione del messaggio

Connection: consente al mittente di specificare le opzioni desiderate per quella particolare connessione. L'opzione "close" segnala che la connessione verrà chiusa al completamento della response

Transfer-encoding: indica quale (se presente) tipo di trasformazione è stata applicata al message body per trasferirlo correttamente dal mittente al destinatario (chunked, gzip...)

Cache Control

Public Indica che la response è cachable in qualsiasi cache

Private Indica che tutte o parti della response sono destinate ad un singolo utente e **non devono essere** memorizzate in una cache condivisa (shared cache). Una cache privata (non-shared) potrebbe memorizzare la response

no-cache Indica che tutte o parti della response **non devono essere memorizzate in nessuna cache**

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

Questi header si applicano **a tutto il messaggio**. Esempi:

Date: Tue, 15 Nov 1994 08:12:31 GMT

Connection: close

Transfer-Encoding: chunked

Entity header Relativi all'entità trasmessa

Content-type, Content-length, data di scadenza...

12.5.1 Request header

Relativi alla richiesta

Chi fa la richiesta, a chi viene fatta, che tipo di caratteristiche è in grado di accettare il client, autorizzazione... consente al client di passare **informazioni aggiuntive** a proposito della richiesta o del client stesso al server. Questi campi agiscono come **modificatori di richiesta**, con **semantica equivalente a quella dei parametri** di un metodo.

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

Accept Specifica che tipi di media sono accettabili nella response. Parametro q per indicare un fattore di qualità relativo, default a 1.

Accept-Charset Indica il set di caratteri accettato per la risposta

Accept-Encoding Tipi di trasformazioni accettate (es. compressione)

Accept: text/plain;q=0.5, text/html, text/x-dvi;q=0.8, text/x-c

Accept-Charset: iso-8859-5, unicode-1-1;q=0.8

Accept-Encoding: compress, gzip

(Alcuni) metodi request:

OPTIONS Richiede **solo le opzioni di comunicazione** associate ad un URL o al server stesso (capacità, metodi esposti ecc.). Un esempio:

OPTIONS http://192.168.11.66/manual/index.html HTTP/1.1

host: 192.168.11.66

Connection: close

HTTP/1.1 200 OK

Date: Sun, 14 May 2000 19:52:12 GMT

Server: Apache/1.3.9 (Unix) (Red Hat/Linux)

Content-Length: 0

Allow: GET, HEAD, OPTIONS, TRACE

Connection: close

GET Richiede il trasferimento di una risorsa identificata da un URL o le operazioni associate all'URL stessa. Un esempio:

GET http://192.168.11.66 HTTP/1.1

host: 192.168.11.66

Connection: close

Response

HTTP/1.1 200 OK

Date: Sun, 14 May 2000 19:57:13 GMT

Server: Apache/1.3.9 (Unix) (Red Hat/Linux)

Last-Modified: Tue, 21 Sep 1999 14:46:36 GMT

ETag: "f2fc-799-37e79a4c"

Accept-Ranges: bytes

Content-Length: 1945

Connection: close

Content-Type: text/html

<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 3.2

Final//EN">

<HTML>...

Sono possibili **GET condizionali e parziali**. Esempio di GET condizionale:

GET http://192.168.11.66 HTTP/1.1

Host: 192.168.11.66

If-Modified-Since: Tue, 21 Sep 1999

14:46:36 GMT

Response:
HTTP/1.1 304 Not Modified
Date: Wed, 22 Sep 1999 15:06:36 GMT
Server: Apache/1.3.9 (Unix) (RedHat/Linux)

HEAD Simile al GET, ma il server **non trasferisce il body** nella response. Utile per controllare lo stato dei documenti (validità, modifiche...). Un esempio:

```
HEAD http://192.168.11.66 HTTP/1.1
host: 192.168.11.66
Connection: close
```

Response (notare la somiglianza con GET, esclusa la mancanza qua del body):

```
HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 14 May 2000 20:02:41 GMT
Server: Apache/1.3.9 (Unix) (Red Hat/Linux)
Last-Modified: Tue, 21 Sep 1999 14:46:36 GMT
ETag: "f2fc-799-37e79a4c"
Accept-Ranges: bytes
Content-Length: 1945
Connection: close
Content-Type: text/html
```

POST Serve per **inviare dal client al server** informazioni inserite nel body del messaggio.

In teoria lo standard dice che il metodo POST è usato per richiedere che il server **accetti l'entità racchiusa nella richiesta come nuovo subordinato della risorsa identificata** dallo Request-URI nel Request-Line.

Nella pratica, la funzionalità effettiva del metodo POST è determinata dal server e solitamente dipende dalla Request-URI.

DELETE Il client **chiede di cancellare una risorsa identificata** dalla Request-URI. Solitamente non attivo su server pubblici.

PUT Il client **chiede di creare/modificare una risorsa identificata** dalla Request-URI. Dopo posso usare una GET per recuperarla. Solitamente non attivo su server pubblici.

Response header Nel messaggio di risposta
Server, autorizzazione richiesta...

Safe Methods Metodi che **non hanno effetti collaterali** (es. non modificano la risorsa): GET, HEAD, OPTIONS, TRACE

Idempotent Methods Metodi che **non hanno effetti ulteriori se vengono fatti N > 0 richieste identiche**: GET, HEAD, PUT, DELETE, OPTIONS, TRACE

12.6 HTTP Response

Response = Status-Line *(general-header | response-header | entity-header) CRLF [message-body]

Un esempio:

```
HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 14 May 2000 23:49:39 GMT
Server: Apache/1.3.9 (Unix) (Red Hat/Linux)
Last-Modified: Tue, 21 Sep 1999 14:46:36 GMT
```

Status-Line La prima linea del messaggio di risposta.

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

Esempio: HTTP/1.1 200 OK

Status-Code Intero a 3 cifre, risultato del tentativo di comprendere e soddisfare la richiesta.

```
1xx: Informational - Request received,
                        continuing process
2xx: Success - The action was successfully
                received, understood, and accepted
3xx: Redirection - Further action must be
                taken in order to complete the request
4xx: Client Error - The request contains bad
                syntax or cannot be fulfilled
5xx: Server Error - The server failed to
                fulfill an apparently valid request
```

<http://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616-sec10.html>

Reason-Phrase Ha l'obiettivo di fornire una breve descrizione testuale dello Status-Code. Lo Status-Code è indirizzato ai computer mentre la Reason-Phrase è per gli umani.

12.6.1 Response Headers

Il campo response-header consente al server di passare ulteriori informazioni sulla response. Questi campi dell'header forniscono informazioni sul server e sull'accesso alla risorsa identificata dallo Request-URI.

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

Esempio:

```
Age: 150 // età del doc. se tramite Proxy
Location: http://www.w3.org/pub/WWW/People.html
Server: CERN/3.0 libwww/2.17
```

Age Una stima in secondi del tempo passato dalla generazione della risposta dal server di origine

Location Usato per reindirizzare il ricevente verso una destinazione diversa dalla Request-URI per il completamento della richiesta o l'identificazione di una nuova risorsa

Server Informazioni sul software usato dal server d'origine per gestire la richiesta

12.7 Negoziazione del contenuto

Le risorse possono essere **disponibili in multiple rappresentazioni**, ad esempio più lingue, formati, dimensioni e risoluzioni, o variare in altri modi ancora. La **content negotiation** è il meccanismo usato per **selezionare l'appropriata rappresentazione** quando si serve una richiesta. Ogni entità è costituita da un **entity body** e da una serie di **entity headers** che ne definiscono il contenuto e le proprietà. Gli entity header sono **informazioni sulle informazioni**, cioè **metadati**.

12.7.1 Entity Headers

entity-header = Allow | Content-Base | Content-Encoding | Content-Language | Content-Length | Content-Location | Content-MD5 | Content-Range | Content-Type | ETag | Expires | Last-Modified | extension-header

Content-Base URI assoluta da usare per risolvere le URL relative contenute nell'entity-body

Content-Encoding Codifica dell'entity-body (es. gzip)

Content-Language Lingua dell'entity-body (es. en, it)

Content-Type Tipo dell'entity-body (es. text/html)

Expires Valore temporale dell'entity-body (utile nel caching)

Last-Modified Data dell'ultima modifica sul server (utile nel caching)

13 Web Caching

L'obiettivo è **soddisfare una richiesta** del cliente **senza contattare il server**. Si **memorizzano copie temporanee delle risorse web** (es. pagine HTML e immagini) e si servono al client per ridurre l'uso di risorse (es. banda e workload sul server), diminuendo anche il tempo di risposta.

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**. Le successive richieste alla stessa Request-URI **possono essere servite dal proxy senza inoltrare la richiesta** al server.

Proxy Programma intermediario che agisce sia da server che da client, con l'obiettivo di fare richieste per conto di altri client. Le richieste sono servite internamente o passandole oltre, anche traducendole, ad altri server.

14 Cookies

L'HTTP è **stateless**, per cui non mantiene info sui client. Come posso riconoscere il cliente di un'applicazione web (es. Amazon)? Come posso realizzare applicazioni web con stato (es. carrello della spesa)? Ricordiamo che **tipicamente l'utente si connette ogni volta con un indirizzo IP e porta diversi**.

Soluzione: numerare i client e obbligarli a **farsi riconoscere ogni volta presentando un cookie**.

Funzionamento Il client C invia al server S una normale richiesta HTTP.

Il server invia la normale risposta + una linea **Set-Cookie: 1678453**

Il client memorizza il cookie in un file associato a S, e aggiunge una linea **Cookie: 1678453** a **tutte le successive richieste** verso quel sito.

Il server confronta il cookie presentato con l'informazione che ha associato a quel cookie.

Utilizzi I cookie vengono utilizzati per:

- Autenticazione
- Ricordare il profilo utente e le scelte precedenti (alla carta-socio)
- Creare sessioni sopra un protocollo stateless (es. carrelli della spesa)

Non accettare dolci dagli sconosciuti: cookiecentral.com

15 Telnet

TErminaL NETwork Protocollo di terminale remoto che permette l'uso **interattivo** di macchine remote: **accesso remoto, accesso multiplo ad un singolo computer**.

Realizza coppie client-server generiche per login remoto, non specializzate per tipo di applicativo. Invece di offrire server specializzati per servizi interattivi, l'approccio consiste nel permettere all'utente di **effettuare una sessione login nella macchina remota** e quindi **inviare i comandi**. Tramite il login remoto gli utenti hanno accesso ai comandi e ai programmi disponibili nella macchina remota.

Puoi mandare comandi attraverso il programma Telnet e verranno eseguiti come se fossi a scriverli direttamente sulla server console. Questo ti consente di controllare il server e comunicare con gli altri server sulla rete

Non è un compito facile, per realizzarlo il Telnet:

Maschera sia la rete che i S.O.

Utilizza un'interfaccia **minima ma veloce**, tipicamente a caratteri

15.1 Introduzione

Telnet permette ad un utente su una macchina di **stabilire una connessione con un login su server remoto**.

In seguito, passa la **battute dei tasti** della macchina locale **alla macchina remota**: i comandi vengono **eseguiti come se fossero stati battuti al terminale della macchina remota**.

Dopodiché, l'**output** della macchina remota **viene trasportato al terminale utente**.

Questo è un **servizio trasparente**: il terminale dell'utente *sembra* essere **connesso direttamente** alla macchina remota

Il modello di Telnet include:

Server che **accetta** le richieste

Client che **effettua** le richieste

Il programma Telnet che svolge due funzioni:

Interagisce col terminale utente sull'host locale

Scambia messaggi con il Telnet server

15.2 Protocollo Telnet

RFC 854 Comunicazione generale, bidirezionale e orientata a blocchi di 8bit. L'obiettivo primario è di fornire un metodo standard per **interfacciare dispositivi terminali e processi terminal-oriented tra loro**.

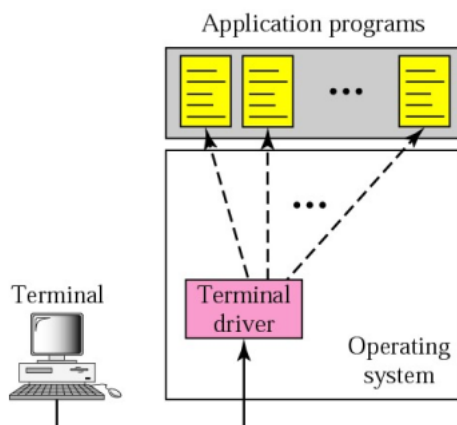
Usa il TCP, con una connessione TCP persistente per tutta la durata della sessione di login, sulla porta 23 del server.

Client **stabilisce una connessione TCP** con il server

Client **accetta le battute di tasti** sul terminale e **le invia al server**.

Accetta i caratteri che il server manda indietro e **li visualizza** sul terminale utente.

Server **accetta la connessione TCP** e trasmette i dati al S.O. locale.



In **Local Login** il S.O. assume che gli input ad un processo vengano forniti dallo standard input (tastiera) e che gli output siano inviati allo standard output (monitor).



In **Remote Login** lo **Pseudo Terminal Driver** è l'entry point del S.O. che consente di trasferire caratteri ad un processo **come se provenissero dal terminale**. Ha il compito di **accettare i caratteri dal server e trasmetterli al S.O** che li consegnerà all'applicazione opportuna.

15.3 NVT

Il Telnet deve **poter operare con il numero massimo di sistem**, quindi gestire **dettagli di S.O. eterogenei** che possono differire per:

Set di codifica dei caratteri

Lunghezza della linea e della pagina

Tasti funzione individuati da diverse sequenze di caratteri (**escape sequence**)

Es. diverse combinazioni per interrompere un processo(CTR+C, ESC), caratteri ASCII diversi per la terminazione di righe di testo.

Per risolvere questo problema si definisce **un ambiente virtuale**. Sulla rete si considera un **unico terminale standard** e in corrispondenza di ogni stazione di lavoro si effettuano le **conversioni da terminale locale a terminale virtuale e viceversa**.

Network Virtual Terminal Telnet assume che sui due host sia in esecuzione un **Network Virtual Terminal**, la connessione TCP è stabilita tra i due terminali NVT.

L'NVT è un dispositivo *immaginario* che **fornisce una rappresentazione astratta di un terminale canonico**. Gli host, sia client che server, traducono le loro caratteristiche locali così da **apparire esternamente come un NVT** e assumo che l'host remoto sia un NVT.

Il Network Virtual Terminal definisce un **set di caratteri e di comandi** universale, che permette di:

Trasformare il set di caratteri in uso localmente in un set di caratteri universale (lettere accentate, tasti freccia, backspace...), includendo anche i caratteri di controllo più importanti (break...)

Inviare i caratteri di controllo in maniera privilegiata (meccanismo URGENT del TCP)



15.4 Architettura



15.5 Funzionamento

Rispetto alla esecuzione in locale, sono aggiunti una **serie di intermediari**:

- Il client Telnet **trasforma in NVT** ed usa il S.O. per inviare sulla rete;
- la rete ed il S.O. server portano i dati al server Telnet;
- il server Telnet **traduce da NVT a S.O.** remoto;
- il S.O. remoto **esegue** il dovuto;
- si percorre il cammino inverso con gli stessi soggetti.

Un esempio:

1. L'utente digita **INVIO** sulla tastiera
2. Il S.O. passa al client il carattere **CR**
3. Il client converte **CR** in **CR-LF** e lo invia sulla connessione TCP
4. Il server riceve **CR-LF**, lo converte in **LF** e lo passa allo pseudoterminale
5. Lo pseudoterminale passa all'applicazione **LF**
6. L'applicazione esegue l'operazione di **INVIO**

Formato I terminali NVT si scambiano i dati in **formato 7bit US-ASCII**. Ogni carattere è inviato come un ottetto con il primo bit settato a 0. I byte con il bit più significativo a 1 sono usati per le **sequenze di comandi**. I comandi (es. end-of-line trasmesso come la sequenza **CR-LF**) iniziano con un ottetto speciale (**Interpret as Command** o **IAC**) di 1 → **Inband Signalling** (comandi e dati sulla stessa connessione).

I messaggi di controllo iniziali sono usati per scambiare informazioni sulle caratteristiche degli host (**Telnet Option Negotiation**).

Comandi Qualche esempio

Comando	Codifica Decimale	Significato
IAC	255	Interpreta come comando l'ottetto successivo
EL	248	Erase Line
EC	247	Erase Character
IP	244	Interrupt Process
EOR	239	End of Record

NVT conviene? Suppongo di voler far interoperare N sistemi.

Senza usare NVT, ho bisogno di scrivere N-1 client per ogni sistema, e N server (uno per sistema) = **devo scrivere $N(N-1)+N$ applicazioni**.

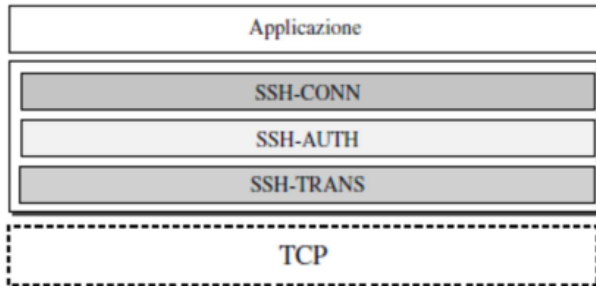
Usando NVT invece devo scrivere soltanto N server e N client, cioè **2N applicativi**.

Per $N > 2$ conviene NVT.

16 SSH

Poiché Telnet passa tutto in chiaro, **anche le password**, con il tempo si è resa necessaria una maggiore sicurezza.

Secure Shell SSH è un'applicazione nata per **sostituire Telnet e risolvere i suoi problemi di sicurezza**. Facilita la comunicazione sicura tra client e server e permette la login remota, resa sicura attraverso **tecniche di cifratura**. Nella realtà SSH offre **funzionalità molto superiori** a quelle di Telnet².



SSH-TRANSPORT Realizza la **connessione sicura** tra due host:

- Autenticazione del server
- Negoziazione degli algoritmi di cifratura
- Scambio di chiavi

SSH-AUTHENTICATION Meccanismi per autenticare l'utente

SSH-CONNECTION Sessione di login remoto, tunneling

17 TCP Port Forwarding

Port Forwarding L'inoltro delle porte è un meccanismo che permette di creare un **canale di comunicazione sicuro** attraverso il quale veicolare qualsiasi tipo di connessione TCP.

Viene **creato un canale di comunicazione cifrato tra la porta all'indirizzo remoto** al quale ci si vuole collegare **ed una porta locale libera**. In questo modo le applicazioni punteranno il collegamento alla porta locale e la connessione verrà **inoltrata automaticamente** all'host remoto tramite un canale sicuro.



```
ssh -L 123:localhost:456 remotehost
```

-L specifica che la data porta sull'host locale è da inoltrare alla data porta sull'host remoto.

<porta locale>:<host>:<porta remota di host>

²Vedi su Forouzan

18 FTP

Il **File Transfer Protocol** (RFC 959) è usato per il **trasferimento di file da/a un host remoto**. Segue il modello client server:

Client: il lato che **chiede** il trasferimento

Server: l'host remoto

Standard Nelle reti TCP/IP lo FTP è lo **standard per il trasferimento di file**. Questo è un servizio **diverso** dall'accesso condiviso online (che è un **accesso simultaneo** da parte di più programmi **ad un singolo file**). L'FTP fornisce anche **funzionalità aggiuntive** oltre al semplice trasferimento di file:

Accesso interattivo: l'utente può **navigare e cambiare/modificare** l'albero di directory nel file system remoto

Specifica del formato dei dati da trasferire (es. file di testo o file binari)

Autenticazione: il client può specificare username e password

18.1 Modello FTP

L'FTP ha due tipi di connessione:

Control connection: scambio di comandi e risposte tra client e server, segue il protocollo Telnet

Data connection: connessione su cui i dati sono trasferiti con modi e tipi specificati. I dati trasferiti possono essere **parte** di file, **un file** o **un set** di file.

18.1.1 Connessione di Controllo

Il client FTP **contatta il server FTP alla porta 21** usando il TCP come protocollo di trasporto. Il client **ottiene l'autorizzazione** sulla connessione di controllo (es. cambio directory, invio file ecc...). La **connessione è persistente**.

18.1.2 Connessione Dati

Quando il server riceve un comando per trasferire file (da o verso il client), **apre una connessione TCP** con il client. **Active Mode:** una connessione per ciascun trasferimento e dopo il trasferimento di un file il server chiude la connessione.



18.2 Altri Dettagli

Quando un client attiva la connessione di controllo con il server usa un **numero di porta assegnato localmente in modo casuale** e contatta il server ad una porta nota, cioè la 21

FTP usa la connessione di controllo per permettere a client e server di **coordinare l'uso delle porte assegnate dinamicamente** per il trasferimento dati

La **connessione di controllo FTP si basa sul protocollo Telnet**

18.2.1 Due Modalità

Per creare la connessione TCP per il trasferimento dati sono possibili due modalità:

Active Mode: vedi sopra, una connessione per ciascun trasferimento e dopo il trasferimento di un file il server chiude la connessione. Il server deve conoscere il numero di porta lato client (glielo comunica)

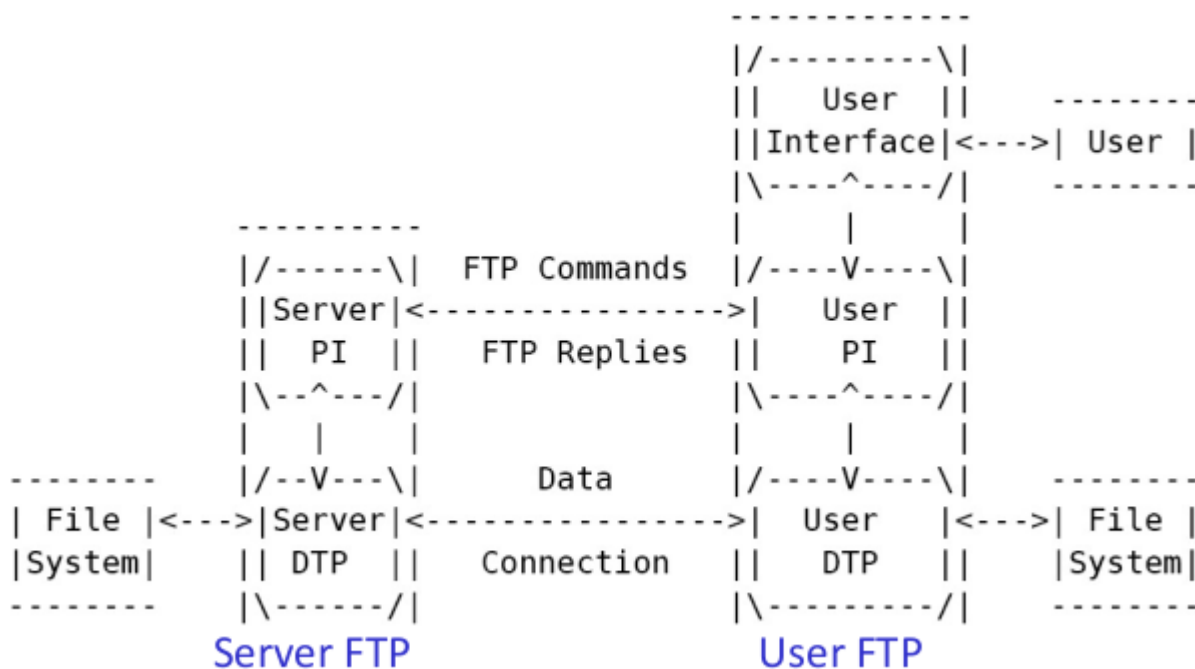
Passive Mode: il **client ottiene un numero di porta dal server** (porta 20, non necessariamente).

Il server non deve accettare connessioni da un processo arbitrario.

Da RFC 959 – PASV: questo comando richiede che il server-DTP "ascolti" su una porta dati (che non è quella predefinita) e di aspettare una connessione piuttosto che iniziarne una alla ricezione del comando di trasferimento. La risposta a questo comando include l'host e l'indirizzo e porta su cui il server sta ascoltando.

DTP: Data Transfer Process

PI: Protocol Interpreter



I dispositivi dove risiedono client e server FTP **sono diversi**: S.O., diverse strutture per gestire i file, diversi formati dei file...

Per effettuare il trasferimento di file, il client deve **definire il tipo di file**, la **struttura dati** e la **modalità di trasmissione** al fine di risolvere i problemi di eterogeneità tra client e server.

Il **trasferimento file** viene **preparato attraverso uno scambio di informazioni lungo la connessione di controllo**

La **comunicazione** sulla connessione di controllo **avviene per mezzo di caratteri con una codifica standard NVT ASCII**, sia per i comandi che per le risposte

18.2.2 Stateful

FTP è un protocollo stateful. Il server deve **tenere traccia dello stato** dell'utente: tra le altre cose anche della connessione di controllo associata ad un account e della directory attuale.

18.2.3 Modalità di trasmissione

Stream mode: FTP invia i dati a TCP con un **flusso continuo di bit**

Block mode: FTP invia i dati a TCP **suddivisi in blocchi**, ognuno dei quali **preceduto da un header**

Compressed mode: si trasmette il **file compresso**

Comandi di Controllo

USER username

PASS password

LIST, elenca i file della directory corrente

NLST, richiede l'elenco di file e directory (**ls**)

RETR filename, recupera (**get**) un file dalla directory corrente

STOR filename, memorizza (**put**) un file nell'host remoto

ABOR, interrompe l'ultimo comando ed i trasferimenti in corso

PORT, indirizzo e numero di porta del client

SYST, il server restituisce il tipo di sistema

QUIT, chiude la connessione

Codici di Ritorno

I codici di ritorno sono composti da un codice di stato e da un'espressione, come in HTTP:

331 Username OK, password required

425 Can't open data connection

452 Error writing file

200 Comando OK

125 Data connection already open, transfer starting

225 Data connection open

225 Closing data connection. Requested file action succesful (es. trasferimento file o ABOR)

426 Connection closed, transfer aborted

227 Entering passive mode

18.3 Anonymous FTP

Server che supportano connessioni FTP senza autenticazione, spesso consentendo operazioni limitate.
ftp.ed.ac.uk, user: ftp e password la mail.

19 DNS

Identificare il processo Ogni processo di livello applicativo ha necessità di **individuare il processo omologo** con il quale vuole comunicare. Il processo omologo **risiede su una particolare macchina remota anch'essa da individuare** (sappiamo che usa lo stesso protocollo).

Nome Uno **nome identifica un oggetto**. Consiste in una sequenza di caratteri scelti da un alfabeto finito, scelta per scopo mnemonico.

Nome significativo di alto livello (alfanumerico), vero e proprio identificativo di livello applicativo.

Indirizzo Un **indirizzo identifica dove tale oggetto è situato**.

Host di internet usano indirizzi IP (32bit) per instradare i datagrammi (livello di rete). Il formato è scelto per garantire l'efficienza dell'instradamento.

Disaccoppiamento: ad un nome possono essere associati più indirizzi.

Come associare indirizzo IP e nome?

19.1 Motivazioni

Inizi All'inizio l'associazione fra nomi logici e indirizzi IP era **statica**: tutti i nomi logici ed i relativi indirizzi erano contenuti in un file (**host file**) periodicamente aggiornato da un server ufficiale. Questo approccio è infattibile nella rete internet attuale:

Non è possibile che **ogni host mantenga una copia aggiornata** dell'elenco. Questo per dimensioni dell'elenco, per i volumi di traffico per trasferire i cambiamenti...

Non è possibile **centralizzare un elenco del genere**: si avrebbe così un unico punto di fallimento, un gigantesco volume di traffico sul server...

Questa soluzione non è scalabile.

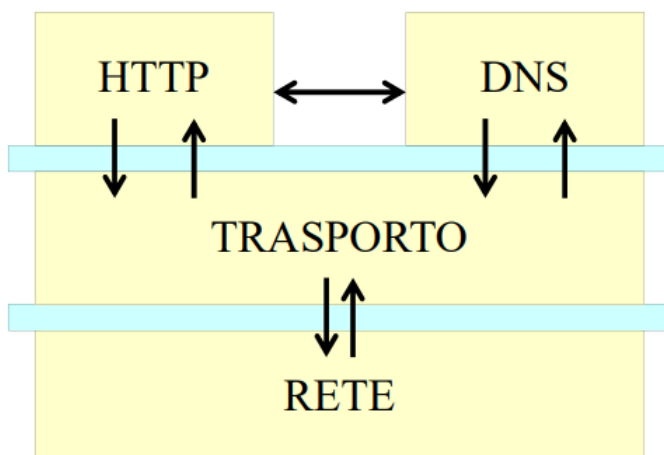
Per questo si utilizza il **Domain Name System**

19.2 Struttura

Il DNS è **posizionato nel livello applicativo**: gira sui terminali a paradigma client-server. Si affida al sottostante protocollo di trasporto punto-punto per trasferire i messaggi tra i terminali.

Non interagisce direttamente con utenti

La **complessità è spostata alle estremità della rete**



Il DNS è un meccanismo che deve:

Specificare la sintassi dei nomi e **le regole** per gestirli

Consentire la conversione nomi → indirizzi e viceversa

Il DNS è costituito essenzialmente da:

Schema di assegnazione dei nomi, gerarchico e basato su domini

Database distribuito contenente i **nomi** e le **corrispondenze** con gli indirizzi

Protocollo per la distribuzione delle informazioni sui nomi **tra i vari name server**

19.3 Servizi

I servizi offerti dal DNS sono molteplici:

Risoluzione di nomi di alto livello (**hostname**) in indirizzi IP

Host aliasing: un host può avere più nomi, solitamente il nome canonico + sinonimi.

Es. `realy1.west-coast.enterprise` può avere due alias `enterprise.com` e `www.enterprise.com`.

Mail Server aliasing: ci possono essere domain name identici per mail server e web server

Distribuzione del carico tra vari server replicati.

Ad un hostname canonico possono corrispondere diversi indirizzi IP. La lista di indirizzi viene ordinata in modo diverso in ogni risposta alla richiesta di risoluzione del nome, così che ogni server replicato possa essere scelto con uguale probabilità, distribuendo così efficientemente le richieste.

19.4 Spazio dei nomi

Dato che internet è una rete di proporzioni enormi, si presentano i problemi di **identificazione delle macchine e instradamento dei pacchetti**. si adotta un **approccio stratificato** poiché è un sistema complesso.

19.4.1 Indirizzi

In internet esistono più indirizzi

Indirizzi **MAC**, quello della scheda di rete.
Solitamente prefissato

Indirizzo **di rete (IP)**

Es. `150.217.8.21`

Assegnato dal gestore di rete in base al tipo di rete a cui si appartiene (classe di sottorete)

Indirizzo **di trasporto**

Coppia <indirizzo IP, porta>

La porta è scelta a livello applicativo con regole appropriate

Indirizzo **alfanumerico**

Es `medialab.det.unifi.it`

Libero, basta che sia mappato in un NameServer

19.4.2 Nomi

Lo **spazio dei nomi** deve permettere di **identificare in modo univoco** un host.

Struttura flat: sequenza di caratteri senza alcuna ulteriore struttura. Poco applicabile.

Struttura gerarchica: un nome è **costituito da diverse parti**.

Requisiti per la partizione dello spazio dei nomi:

Conversione efficiente

Controllo decentralizzato dell'assegnazione dei nomi.

Delega dell'autorità per le varie parti dello spazio dei nomi e **distribuzione della responsabilità** della conversione tra nomi e indirizzi

Vantaggi e svantaggi

- Minore velocità
- + Maggiore flessibilità
- + Riconfigurazione più veloce
- + Possibilità di aggiornamenti decentrati

Nomi di dominio

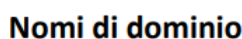
- Dominio di terzo livello: di
- Dominio di secondo livello: unipi
- Dominio top-level: it

it

unipi.it

di

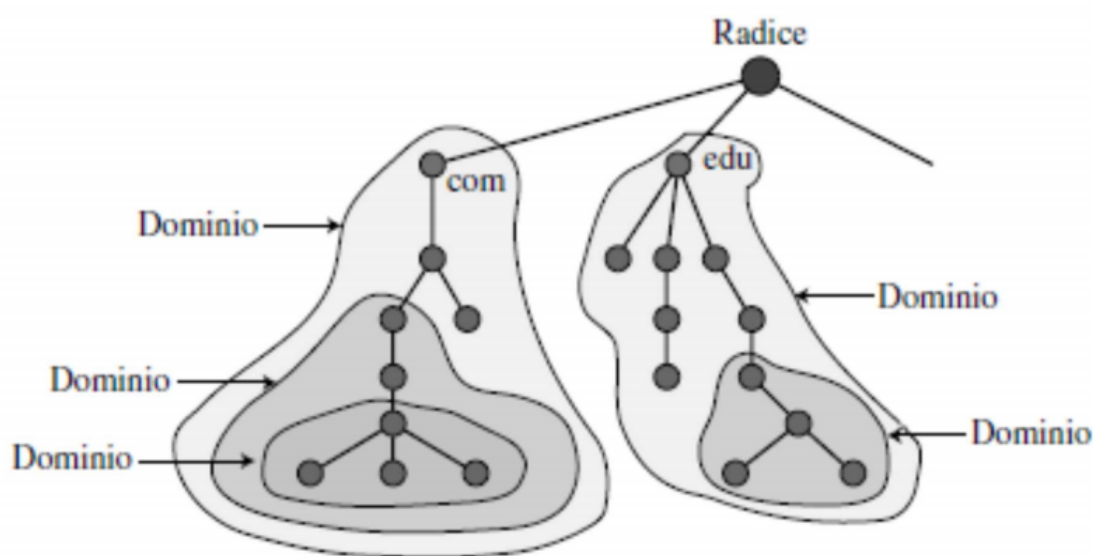
di.unipi.it



- Dominio di terzo livello: di
- Dominio di secondo livello: unipi
- Dominio top-level: it

Dominio Sottoalbero nello spazio di nomi di dominio che viene identificato dal nome di dominio del nodo in cima al sottoalbero.
Può essere suddiviso in ulteriori domini, detti **sottodomini**.

Internet è divisa in **diverse centinaia di domini** ognuno dei quali **partizionato in sottodomini** e così via.



19.4.3 Top-Level Domains

Internet Assigned Number Authority IANA – iana.org

`com` Organizzazioni commerciali

`edu` Istituti d'istruzione (università, scuole...)

`mil` Gruppi militari

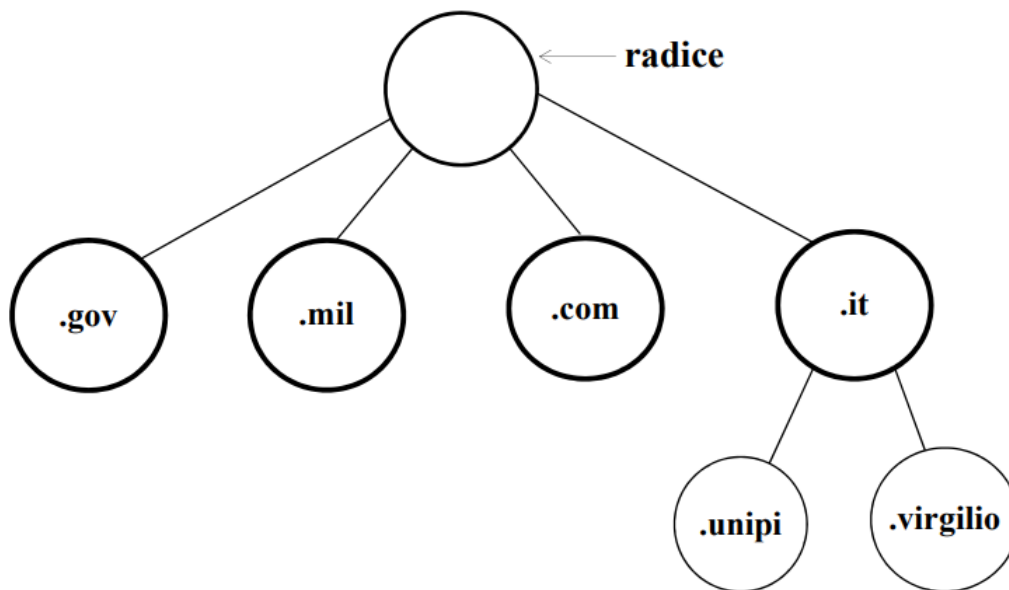
`gov` Istituzioni governative

`net` Principali centri di supporto alla rete

`org` Organizzazioni diverse dalle precedenti

Codici geografici, schema geografico per nazioni

Es. `ir`, `uk`, `us`, `fr`...



19.4.4 Struttura di un nome alfanumerico

`mmedia5.di.unipi.it`

`mmedia5` nome locale della macchina (etichetta **più specifica**)

`di.unipi.it` nome del dominio (`.it` è l'etichetta **meno specifica**)

La parte dominio **può essere ulteriormente suddivisa**, creando così una **struttura logica gerarchica** (di nome locale, `unipi.it` dominio e così via...)

19.5 Conversione

Indirizzi IP Gli indirizzi IP sono **interi a 32bit**. Vengono rappresentati nella **Decimal Dotted Notation** che divide l'indirizzo IP in 4 **ottetti**, ovvero 4 gruppi di 8bit. Ad es. 150.217.8.21.

Gerarchia L'indirizzo IP è strutturato in una gerarchia a due soli livelli.

Indirizzi alfanumerici Gli indirizzi alfanumerici sono del tipo "medialab.di.unipi.it", sono **logici, gerarchici** e **NON indicano in assoluto la locazione geografica** di un host.

Vengono **convertiti da un Domain Name Server in un indirizzo IP**, eventualmente usando un sistema ricorsivo di ricerca.

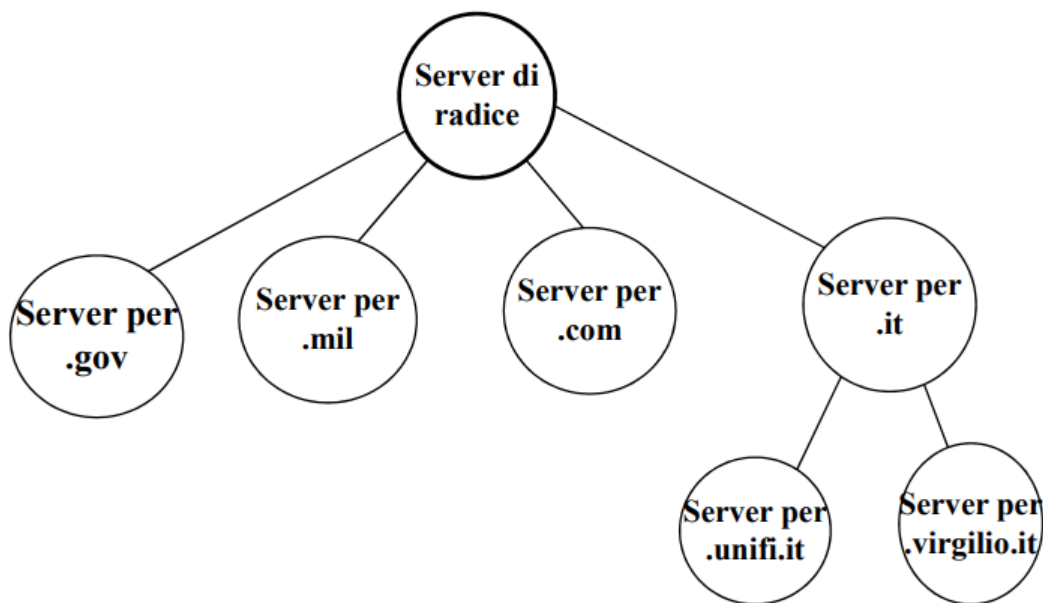
Database DNS Il database DNS è **distribuito** ed implementato in una gerarchia di più name servers.

Protocollo Il protocollo per la **risoluzione dei nomi alfanumerici in indirizzi IP** è dello **strato applicativo**.

NB Una funzione fondamentale di internet è implementata come protocollo dello strato applicazione → una parte della complessità della rete è **gestita alle estremità** della rete stessa.

19.5.1 Name Servers

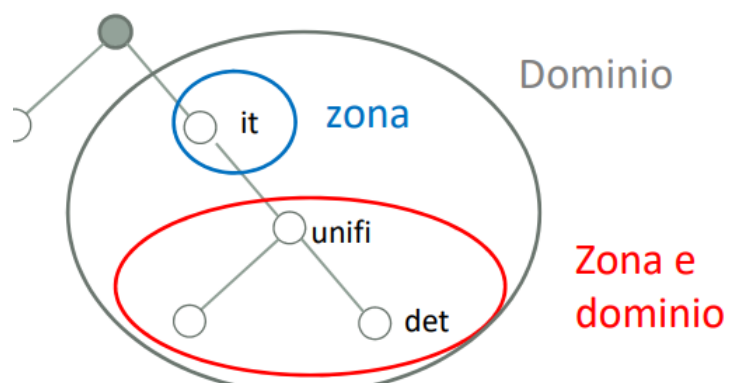
Un **Name Server** è un **programma che gestisce la conversione da nome di dominio ad indirizzo IP**. I Name Server sono strutturati gerarchicamente.



Spesso i DNS sono **accorpati e duplicati (sicurezza)**. Inoltre per diminuire il traffico di rete ed il carico dei DNS, ogni server usa **una cache per le ultime richieste espletate**.

Informazioni Le informazioni sui domini sono ripartite su più server

Zona Una zona è una **regione di cui è responsabile un name server**, tipicamente una parte contigua dell'albero. Zona e dominio non necessariamente coincidono. Il server **immagazzina le informazioni relative alla propria zona**, inclusi i riferimenti ai server dei domini di livello inferiore.



19.5.2 Root Name Servers

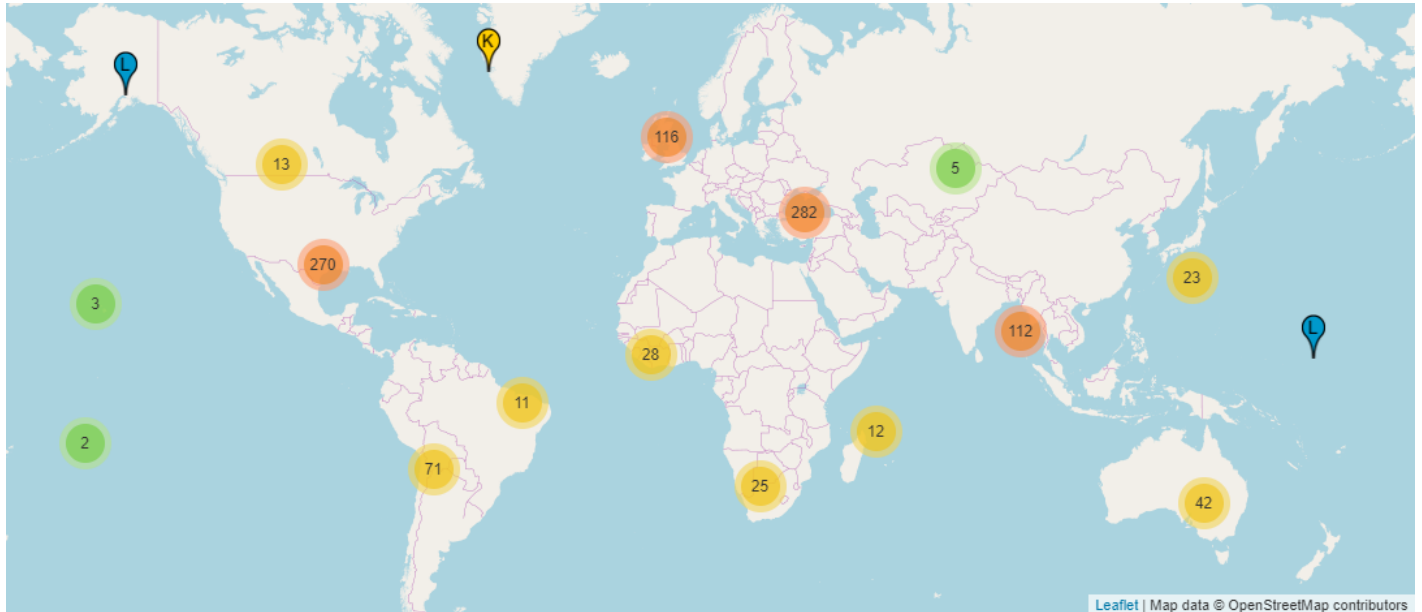
I **root name servers** vengono contattati dai **local name servers** che non possono risolvere un determinato nome. Il root name server:

Contatta gli **authoritative name server** se quella traduzione non è nota

Recupera la traduzione

Invia la traduzione al local name server

Ce ne sono centinaia in tutto il mondo.



root-servers.org

19.5.3 Gerarchia dei server

Root Name Server, server radice

Top-Level Domain Server: si occupano dei domini .com, .org, .edu...
Ad es. Network Solution gestisce i TLD server per il dominio .com

Authoritative Name Server, server di competenza

Per un host archivia l'indirizzo IP di quello stesso host. Capace di risolvere la traduzione name/address per quell'hostname.

Ogni organizzazione dotata di host internet pubblicamente accessibili (es. web server, server di posta) deve **fornire i record DNS di pubblico dominio** che mappano i nomi di tali host in indirizzi IP (server mantenuti dall'organizzazione o ISP).

Per una certa zona ci possono essere **server primari** e **secondari**.

Server primari mantengono il file di zona

Server secondari ricevono il file di zona e offrono il servizio di traduzione

Local Name Server

Non appartengono strettamente alla gerarchia dei server. Ogni ISP (Università, Società, ISP) ha il **proprio (default) name server locale**. Le query DNS passano prima dal name server locale.

19.6 Risoluzione dei nomi

Esempio: il client vuole l'IP di `www.amazon.com`. Prima approssimazione:

Client **interroga** il server radice per trovare il server DNS `com`

Client **interroga** il server DNS `com` per ottenere il server DNS `amazon.com`

Client **interroga** il server DNS `amazon.com` per ottenere l'indirizzo IP di `www.amazon.com`

Query Ricorsiva

Host `www.tintin.fr` cerca l'IP di `www.topolino.it`.

Contatta il suo DNS locale `dns.tintin.fr`

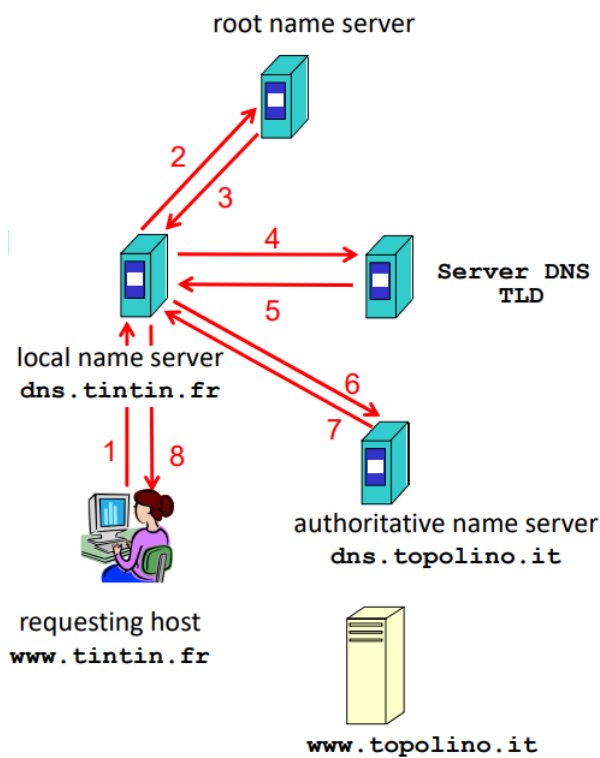
`dns.tintin.fr` contatta il root name server se necessario

Il root name server contatta l'autoritative name server `dns.topolino.it` se è necessario

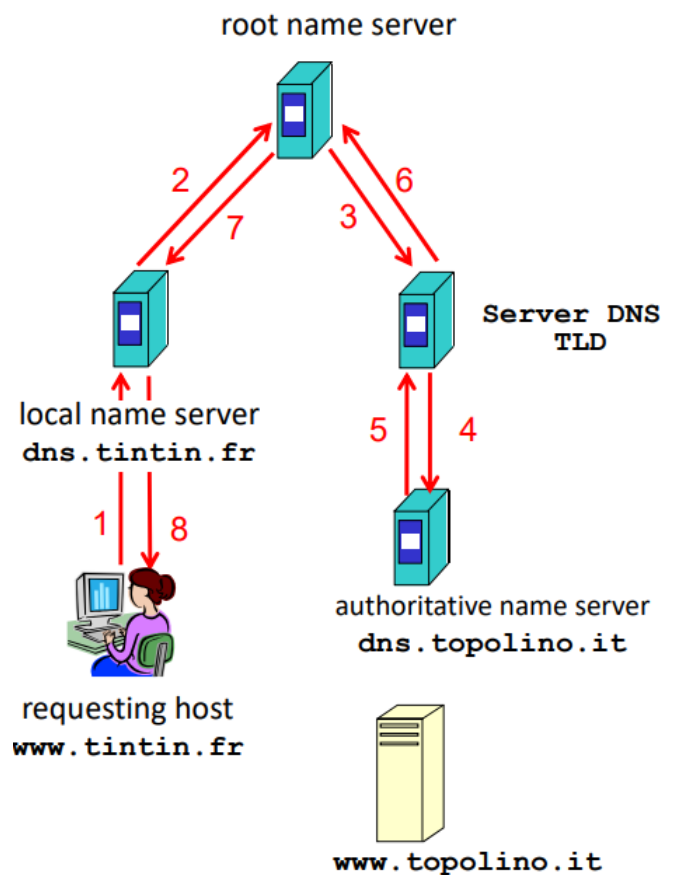
Il local name server ha richiesto una conversione completa

Query Iterativa Le risposte vengono restituite direttamente al client, cioè i name server rispondono con il riferimento al name server da contattare.

Query Iterativa



Query Ricorsiva



19.7 Caching e Aggiornamento Record

Una volta che un name server ha appreso un'associazione, la mette nella **cache**. I **record** nella cache vengono **cancellati dopo un certo tempo** (timeout, TTL). L'utilizzo della cache **migliora il ritardo** e **riduce il numero di messaggi DNS**.

I meccanismi di update/notifica sono descritti nella RFC 2136.

19.8 Record DNS

Il DNS è un **database distribuito di "resource records" (RR)**.

Formato RR: (name, value, type, TTL)

TTL: quando la risorsa dovrà essere rimossa dalla cache

I significati di **name** e **value** dipendono da **type**

```
type = A
name = hostname
value = indirizzo IP

type = CNAME
name = hostname (sinonimo)
value = nome canonico dell'host

type = NS
name = dominio (es. unifi.it)
value = hostname dell'autoritative name server per quel dominio

type = MX
name = nome di dominio
value = nome canonico del server di posta associato a name

Ci sono altri type...
```

Esempi di record DNS

```
(hostname, indirizzoip, A, ...)
(www.cnn.com, 157.166.224.25, A, ...)
(www.cnn.com, 157.166.224.26, A, ...)

(dominio, nomeDiAuthoritativeServerPerDominio, NS, ...)
(cli.di.unipi.it, nameserver.cli.di.unipi.it*, NS, ...)
[* ANSWER conterrà anche (nameserver.cli.di.unipi.it, 131.114.120.2,A, ...)]

(alias, hostnameMailServerConTaleAlias, MX, ...)
(cli.di.unipi.it, mailserver.cli.di.unipi.it*, MX, ...)
[* ANSWER conterrà anche (mailserver.cli.di.unipi.it, 131.114.11.39, A, ...)]
```

19.9 Messaggi DNS

Query e risposte hanno lo **stesso formato**.

Le query contengono **QName** e **QType** nella sezione **"question"**.

Le risposte contengono 0 o più RR nella sezione **"answer"** e 0 o più RR nella sezione **"additional"**.

Per esempio:

```
dns.poly.edu → TLD server
Question: QName=gaia.cs.mass.edu QType=A

dns.poly.edu ← TLD server
Answer: (umass.edu, dns.umass.edu, NS)
Additional: (dns.umass.edu, 128.115.40.41, A)
```

Header dei messaggi DNS

Identification: 16 bit. Identification usato dalle query, la reply ad una query usa lo stesso identification.

Flags

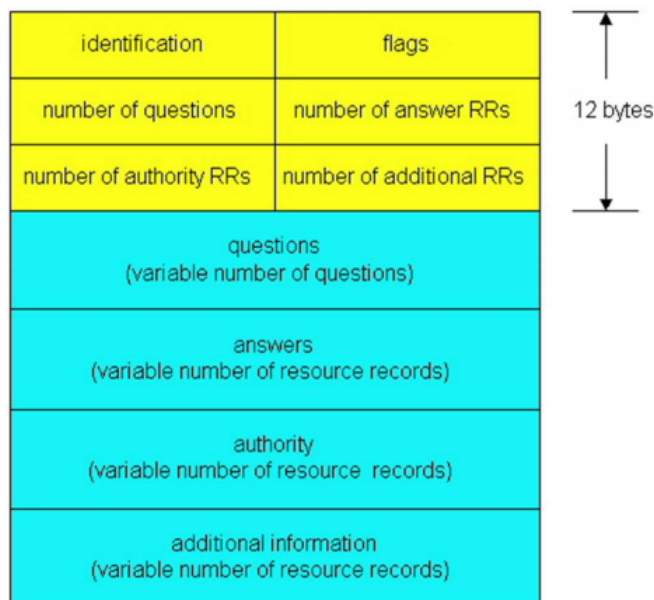
Query (0) o reply (1)

Recursion desired

Recursion available

Reply is authoritative

Il protocollo DNS usa tipicamente **UDP sulla porta 53 per le query DNS** (dimensioni del messaggio inferiori a 512B). Possibile usare TCP, ad esempio per trasferire i dati tra DNS server – Zone Transfers)



Domande: campi per il nome richiesto ed il tipo di domanda

Risposte: RR nella risposta della domanda

Competenza: record per i server di competenza

Informazioni aggiuntive

Questions

0	Nome di dominio dell'interrogazione		31
	Tipo di interrogazione	Classe di interrogazione	
	...		

Tipo di Interrogazione: tipo di domanda (nome di una macchina o indirizzo di posta)

Il **client** riempie la sezione di **domanda**

Il **server**, nel proprio messaggio di **risposta**:

ricopia la sezione di domanda

riempie le altre sezioni (risposta, autorità, altre info) con RR

Le RFC di riferimento sono:

RFC 1034: DOMAIN NAMES – CONCEPTS AND FACILITIES
Definisce i seguenti tipi di record:

A indirizzo dell'host

CNAME nome canonico

HINFO CPU e S.O. usato dall'host

MX mail exchange

NS Authoritative Name Server

PTR name space pointer

SOA Inizio di una zona d'autorità

RFC 1035: DOMAIN NAMES – IMPLEMENTATION AND SPECIFICATION

20 SMTP

Posta Elettronica Uno dei primi servizi nati su internet è la posta elettronica (1982). Essa consiste nel **trasferimento di un messaggio** tra uno user **mittente** e uno user **destinatario**. Il **destinatario potrebbe non essere disponibile** in quel momento, e quindi non poter accettare i messaggi: utente impegnato, **computer spento**.

Il servizio di posta elettronica si **basa su componenti intermediari** per trasferire i messaggi: **disaccoppiamento** lato mittente e destinatario, analogia con posta tradizionale.

Il trasferimento di messaggi di posta elettronica si basa sul **Simple Mail Transfer Protocol** (RFC 821, RFC 2821, RFC 5321).

Componenti principali

Agenti utente

Mail Server

Protocolli

20.1 Agenti Utente

Detti anche **mail reader**, usati per la **composizione**, editing, **lettura** di messaggi di posta. Ad es:

Eudora

Outlook

Thunderbird

I messaggi in entrata e uscita **vengono archiviati sul server**

20.2 Mail Server

Le **mailbox** (casella) **contengono**

i messaggi in ingresso diretti all'utente ancora da leggere

una **coda di messaggi in uscita** ancora da inviare

il **protocollo SMTP** per il dialogo tra mail server, allo scopo di scambiare i messaggi

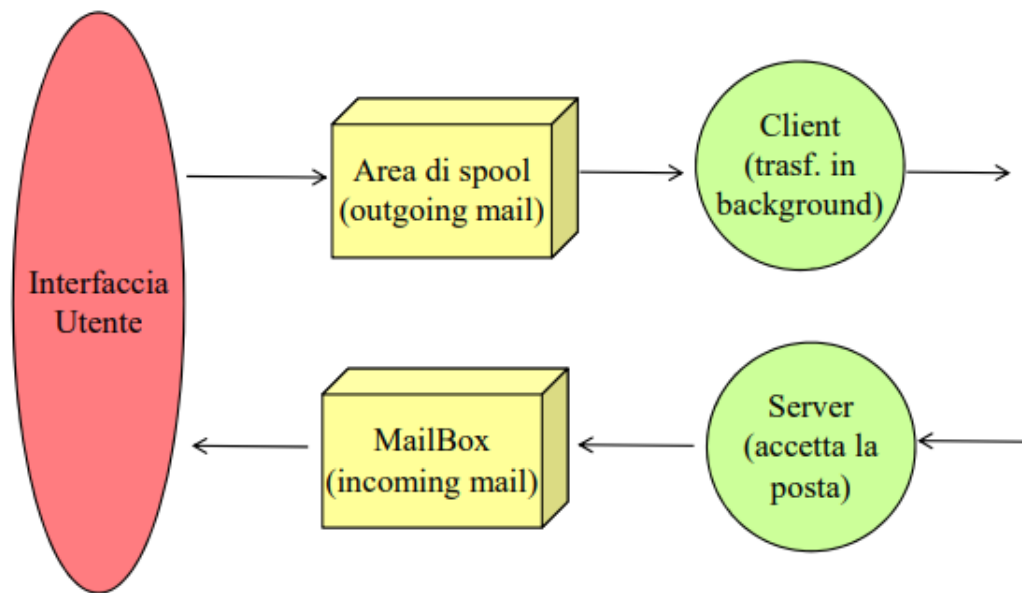
Client: mail server che invia

Server: mail server che riceve

Esempio di scenario: Alice invia un messaggio di posta a Bob.

1. **Alice**, grazie al suo mail user agent **compone il messaggio**.
Alice **fornisce** allo user agent l'**indirizzo di destinazione**, cioè l'indirizzo di Bob
2. Lo user agent di Alice **spedisce il messaggio** al suo server di posta e il messaggio **viene accodato in attesa di invio**
3. Il **lato client** dell'SMTP sul server di posta di Alice **vede il messaggio e apre una connessione al server SMTP** sul server di posta **di Bob**
4. L'SMTP client **invia il messaggio nella connessione**
5. Sull'**host server** di posta di Bob, il **lato server** dell'SMTP **riceve il messaggio e lo colloca nella casella di posta di Bob**
6. Bob, **quando vuole**, chiede al suo user agent di leggere il messaggio

20.3 Schema di principio



La tecnica adottata dai server di posta si chiama **spooling**.

L'utente invia un messaggio, il sistema ne pone una copia in memoria spool – o **area di accomodamento della posta**, insieme all'id mittente, id destinatario, id macchina di destinazione e tempo di deposito.

Il sistema **avvia il trasferimento alla macchina remota**. Il sistema (client) stabilisce una connessione TCP con la macchina destinazione.

Se la connessione viene aperta, **inizia il trasferimento del messaggio**

Se il trasferimento va a buon fine il **client cancella la copia locale del film**

Se il trasferimento non va a buon fine, il **processo di trasferimento scandisce periodicamente l'area di spooling e tenta il trasferimento dei messaggi non consegnati**. Oltre un certo intervallo di tempo (definito dall'amministratore del server), se il messaggio non è stato consegnato **viene inviata una notifica all'utente mittente**.

20.4 Indirizzo

Un ricevente è identificato da un indirizzo email del tipo:

`local-part @ domain-name`

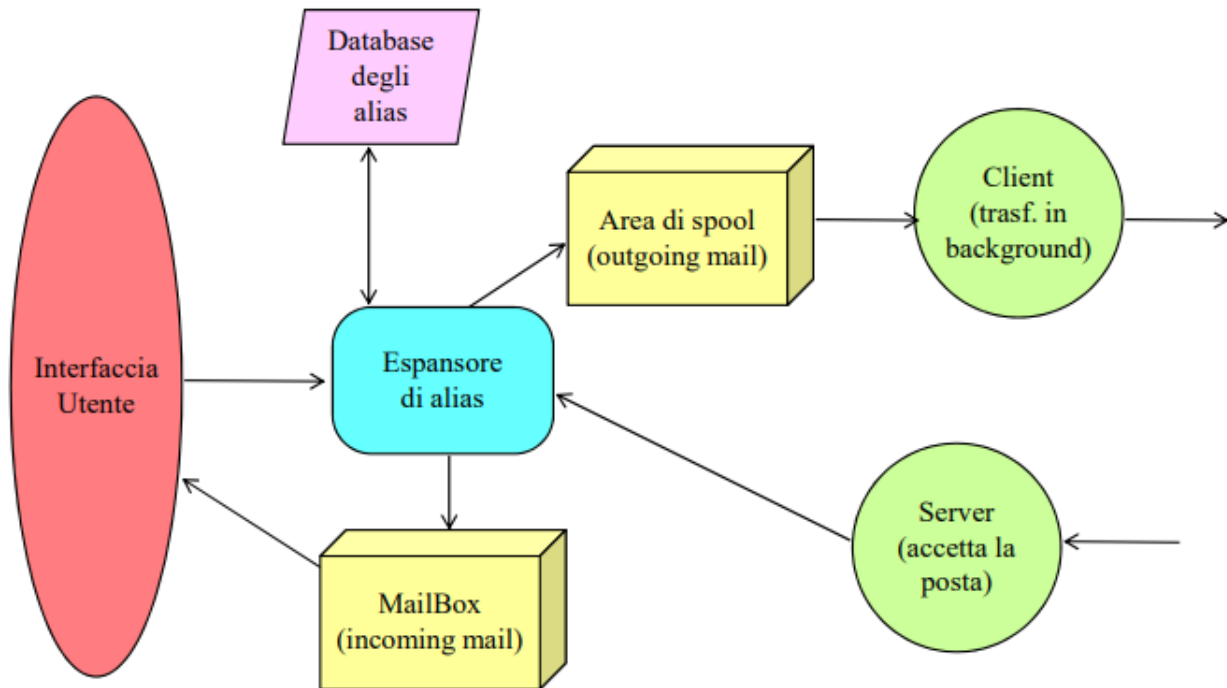
domain-name: specifica un **mail server**. Determina il nome di dominio della destinazione verso la quale la mail deve essere consegnata.

Nome di dominio del server di posta

local-part: specifica una **casella di posta** sul mail server. Spesso identica al login o al nome completo dell'utente.

Indirizzo della casella di posta del destinatario

20.5 Gestione Alias



L'**alias** è una **casella postale virtuale** che serve a **ridistribuire i messaggi** verso uno o più indirizzi di posta elettronica personali.

Molti – Uno: il sistema di alias **permette ad un singolo utente di avere identificatori di mail multipli**, assegnando un set di identificatori ad una singola persona.

Un utente → più indirizzi postali

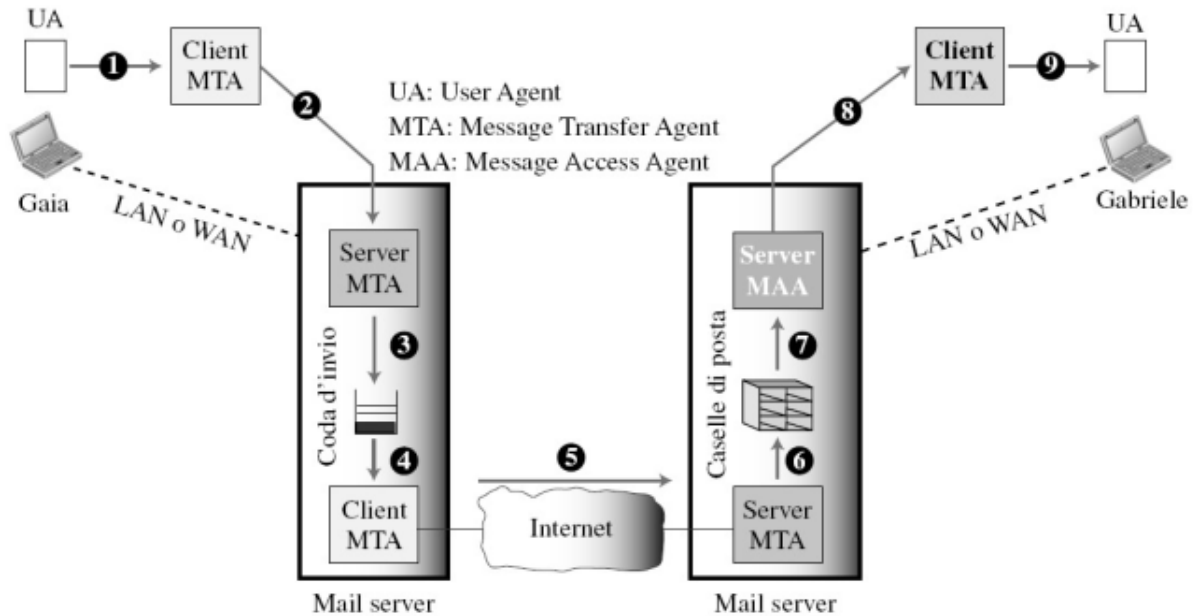
Uno – Molti: il sistema di alias **permette di associare un gruppo di destinatari ad un singolo identificatore**.

Un indirizzo postale → più utenti destinatari (es. mailing list)

Espansione degli alias postali Conversione di **identificatori** di indirizzi postali in **uno o più indirizzi postali** nuovi.

Se l'alias database specifica che all'indirizzo **x** deve essere assegnato il nuovo indirizzo **y**, l'espansione dell'alias riscriverà l'indirizzo di destinazione. Si provvederà poi a determinare se **y** specifichi un indirizzo locale o remoto e lo posizionerà nell'area di spool relativa.

20.6 Modello di riferimento



20.7 Simple Mail Transfer Protocol

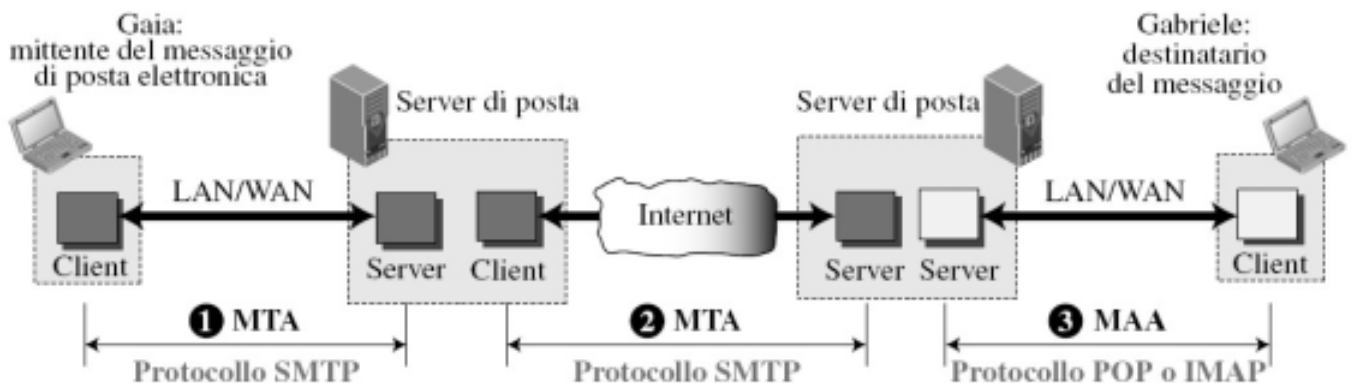
RFC 821, RFC 2821, RFC 5321

L'obiettivo dell'SMTP è **trasferire le mail in maniera affidabile ed efficiente**. L'SMTP è **indipendente dal particolare sottosistema di trasmissione** e richiede solo un canale che trasmetta dati ordinati in maniera affidabile.

Nonostante (nelle RFC) si parli specificamente del TCP, altri mezzi di trasporto sono possibili.

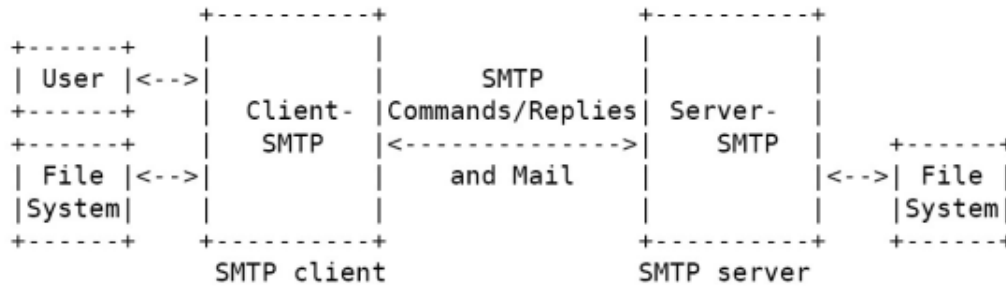
20.8 SMTP Mail Relaying

Una funzionalità importante dell'SMTP è la capacità di **trasportare mail attraverso reti multiple**. In questo modo, un messaggio di posta può passare attraverso molti dispositivi intermedi sul suo percorso dal mittente al destinatario.



20.9 Modello SMTP

Quando un client SMTP ha un messaggio da trasmettere, stabilisce una **canale di trasmissione bidirezionale verso un server SMTP**. La **responsabilità del client SMTP** è di **trasferire messaggi di posta a uno o più server SMTP**, o comunicarne il fallimento.



Un client SMTP determina l'indirizzo di un host appropriato che esegue un server SMTP **risolvendo un nome di dominio di destinazione** ottenendo o un **mail server intermedio** o l'**host finale** (tramite query DNS).

Trasferimento Il trasferimento di un messaggio può avvenire **in una singola connessione** tra mittente e destinatario o tramite **una serie di salti tra sistemi intermedi**.

In entrambi i casi, una volta che il server ha risposto positivamente alla fine della trasmissione dei dati della mail, avviene una **cessione di responsabilità del messaggio**: il **protocollo richiede che un server debba accettare la responsabilità di o consegnare il messaggio o segnalare il fallimento** della consegna.

20.9.1 Fallimenti nella consegna

Possibili problemi

Connessione con il mail server del mittente

Server **inesistente** o **irraggiungibile**

Connessione con il mail server del destinatario

Server **inesistente** o **irraggiungibile**

Inserimento nella casella di posta del destinatario

User **sconosciuto**, **casella piena**

In tutti i casi **il mittente riceve una notifica!**

L'unico caso in cui il destinatario non riceve il messaggio e il mittente non viene avvisato è se **qualcuno rimuove il messaggio** (intrusi, filtri antispam...)

20.10 Protocollo

Nella pratica viene usato il **protocollo TCP** sulla porta 25 per **consegnare in modo affidabile** i messaggi dal client al server. Questo avviene in tre fasi:

Handshaking

Trasferimento del messaggio

Chiusura della connessione

L'**interazione** avviene tramite **comando/risposta**, con comandi in testo ASCII e risposte con codici di stato e descrizione facoltativa.

I messaggi, header e body, sono in caratteri ASCII a 7bit.

Protocollo semplice, di comandi e risposte I **comandi e** (a meno di alterazioni dovute ad un'estensione del servizio) i **dati dei messaggi SMTP sono trasmessi** da mittente a destinatario **attraverso il canale di trasmissione in "right"**.

Una **risposta SMTP** è un **riconoscimento** (positivo o negativo) mandato in "righe" da destinatario a mittente attraverso il canale di trasmissione in risposta ad un comando.

La forma generale di risposta è un **codice numerico**, solitamente seguito da una stringa di testo.

S: MAIL FROM: <Smith@Alpha.ARPA>

R: 250 OK

S: RCPT TO:<Jones@Beta.ARPA>

R: 250 OK

S: RCPT TO:<Green@Beta.ARPA>

R: 550 No such user here

S: RCPT TO:<Brown@Beta.ARPA>

R: 250 OK

S: DATA

R: 354 Start mail input; end with <CRLF>.<CRLF>

S: Blah blah blah...

S: ...etc. etc. etc.

S: <CRLF>.<CRLF>

R: 250 OK

Handshaking Il client **stabilisce la connessione e attende** che il server invii "220 READY FOR MAIL", cioè la disponibilità a ricevere la posta.

Il **client risponde con il comando HELO**

Il **server risponde identificandosi**

A questo punto il client può trasmettere i messaggi

S: 220 Beta.GOV Simple Mail Transfer Service ready

C: HELO Alfa.EDU

S: 250 Beta.GOV

20.11 Comandi SMTP

Alcuni comandi:

HELO <client identifier>

MAIL FROM:<reverse-path> [SP <mail-parameters>
<CRLF>

RCPT TO:<forward-path> [SP <rcpt-parameters>]
<CRLF>

DATA

QUIT

Nota bene <CRLF>.<CRLF> per terminare la fine di un messaggio

20.12 Esempio

S: MAIL FROM:<Smith@Alpha.ARPA>

R: 250 OK

S: RCPT TO:<Jones@Beta.ARPA>

R: 250 OK

S: RCPT TO:<Green@Beta.ARPA>

R: 550 No such user here

S: RCPT TO:<Brown@Beta.ARPA>

R: 250 OK

S: DATA

R: 354 Start mail input; end with <CRLF>.<CRLF>

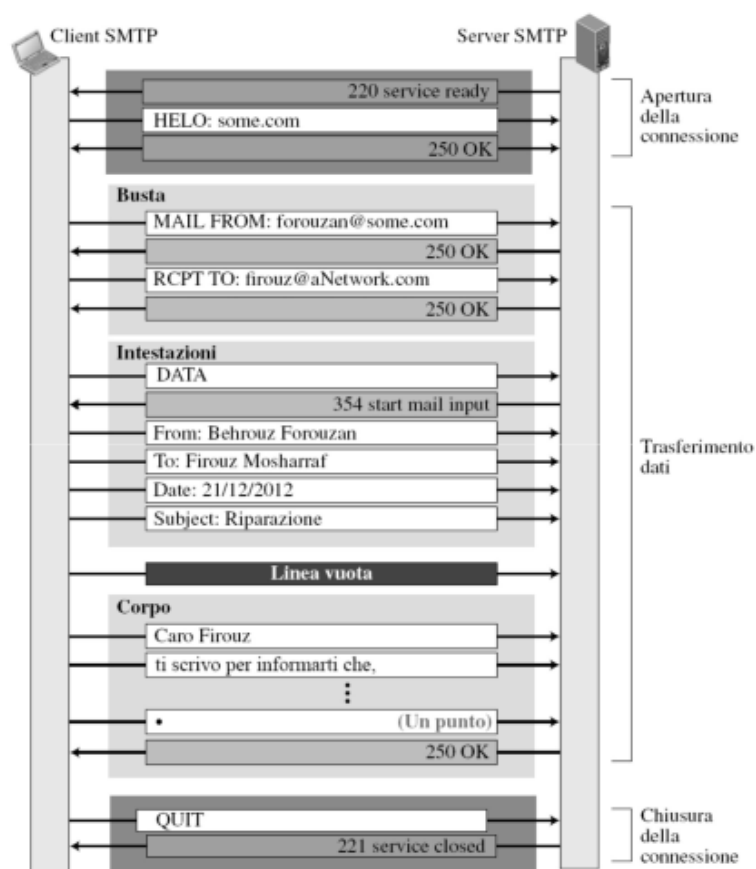
S: Blah blah blah...

S: ...etc. etc. etc.

S: <CRLF>.<CRLF>

R: 250 OK

Esempio d'interazione



20.13 Formato messaggi mail

L'SMTP è il protocollo per lo scambio dei messaggi

L'RFC 2822 è lo standard formato di testo:

Linee d'intestazione ad esempio

To:

From:

Subject:

Diversi dai comandi SMTP!

Linea vuota

Body

Il "messaggio", solitamente in caratteri ASCII 7bit

Esempi di header:

A.3.1, minimo richiesto

```
Date: 26 Aug 76 1429 EDT
From: Jones@Registry.Org
Bcc:
-oppure-
Date: 26 Aug 76 1429 EDT
From: Jones@Registry.Org
To: Smith@Registry.Org
```

Il campo Bcc può essere vuoto, il campo **To** deve avere almeno un indirizzo

A.3.2, con qualche campo addizionale

```
Date: 26 Aug 76 1430 EDT
From: George Jones<Group@Host>
Sender: Secy@SHOST
To: "Al Neuman"@Mad-Host, Sam.Irving@Other-Host
Message-ID: <some.string@SHOST>
```

A.3.3, il più complesso possibile

```
Date      : 27 Aug 76 0932 PDT
From      : Ken Davis <KDavis@This-Host.This-net>
Subjcet   : Re: The Syntax in the RFC
Sender    : KSecy@Other-Host
Reply-To: Sam.Irving@Reg.Organization
To        : George Jones <Group@Some-Reg.An-Org>, Al.Neuman@MAD.Publisher
cc        : Important folk:
            Tom Softwood <Balsa@Tree.Root>,
            "Sam Irving"@Other-Host;,
Standard Distribution:
            /main/davis/people/standard@Other-Host,
            "<Jones>standard.dist.3"@Tops-20-Host>;
```

Comment : Sam is away on business. He asked me to handle his mail for him. He'll be able to provide a more accurate explanation when he returns next week.

In-Reply-To: <some.string@DBM.Group>, George's message

X-Special-action: This is a sample of user-defined field-names. There could also be a field-name "Special-action", but its name might later be preempted

Message-ID: <4231.629.XYzi-What@Other-Host>

20.14 Estensioni multimediali

L'RFC 822 permette di inviare **solo messaggi di testo** in ASCII. **Problema:** permettere agli utenti di Internet di inviare/ricevere messaggi

In **lingue con accenti** (come l'italiano), in **alfabeti non latini** (come il russo o l'ebraico) o in **lingue senza alfabeto** (come il cinese o il giapponese)

Contenuti audio o video

20.14.1 MIME

Idea di base Continuare ad usare il formato del messaggio specificato in RFC 822 ma **aggiungendo una struttura al message body** e definendo **regole di encoding** per il trasferimento di testo non-ASCII.

Questo ha permesso di **inviare messaggi MIME usando protocolli e mail server esistenti**, rendendo però **necessario cambiare gli user agent**.

Multipurpose Internet Mail Extension RFC 2045 e RFC 2046. Questo standard di Internet **estende il formato delle mail** per supportare:

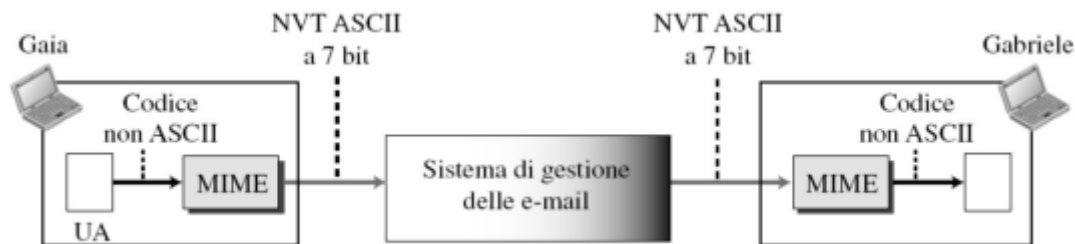
Testo in **character set diversi** dall'US-ASCII

Allegati non di testo

Corpo del messaggio diviso in più parti

Informazioni nell'header in character set non ASCII

Si realizza con linee di intestazione aggiuntive per dichiarare il tipo di contenuti MIME. La RFC 2045 definisce una serie di metodi per rappresentare dati binari in formato ASCII.



```
From: alice@crepes.fr
To: bob@hamburger.edu
Subject: Picture of yummy crepe.
MIME-Version: 1.0          \\Versione MIME
Content-Transfer-Encoding: base64 \\Metodo usato per la codifica dei dati
Content-Type: image/jpeg    \\Dati multimediali (tipo, sottotipo, parametri...)
```

```
base64 encoded data .....
.....                \\Dati codificati
.....base64 encoded data
```

Campi nell'header:

MIME-Version: un **numero di versione** per dichiarare a quale versione aderisce il formato del messaggio

Content-Type: usato per **specificare il tipo del media e il sottotipo dei dati** nel corpo del messaggio, e per specificare completamente la rappresentazione nativa di quei dati

Content-Transfer-Encoding: specifica la **codifica applicata** al corpo del messaggio. La codifica è solitamente applicata ai dati per consentire loro di passare attraverso i meccanismi di trasporto delle mail, che potrebbero avere limitazioni sui dati o sui character set.

La maggior parte dei tipi di media che è utile trasportare via mail sono **nativamente rappresentati con caratteri di 8bit** o dati binari. I **client e i server SMTP** si **aspettano messaggi ASCII** (caratteri a **7 bit**), i **dati binari** invece **usato tutti e 8 bit** del byte (es. immagini, eseguibili, set estesi di caratteri).

MIME fornisce **cinque schemi di transfer encoding** tra cui:

Codifica ASCII dei dati binari: **codifica base64**

Gruppi di 28bit divisi in 4 unità da 6bit, ciascuna unità inviata come un carattere ASCII

Quoted-printable encoding: per messaggi con pochi caratteri non-ASCII, più efficiente

Oggigiorno i mail server possono negoziare l'invio di dati in codifica binario (8 bit), se la negoziazione non ha successo si usano i caratteri ASCII.

20.14.2 Tipi MIME

Content-Type: type/subtype; parameters

Text

Esempi di subtype: plain, html

Image

Esempi di subtype: jpeg, gif

Audio

Esempi di subtype: basic (8bit mu-law encoded), 32kadpcm (32 kbps)

Video

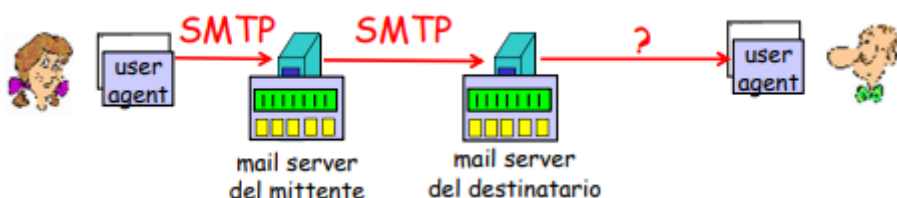
Esempi di subtype: mpeg

Application

Altri dati che devono essere processati da un'applicazione prima di essere visualizzabili.

Esempi di subtype: msword, octet-stream (dati arbitrari binari)

20.15 Protocolli di accesso alla mail



Per trasferire la posta fino al server del destinatario si utilizza l'SMTP, che è un protocollo di tipo push: la maggiorparte dei dati è dal client al server. Per **leggere la posta** invece, è richiesto un protocollo di tipo pull, cioè in cui i dati viaggiano prevalentemente dal server al client.

Message Access Agent Attualmente si utilizzano due protocolli di accesso alla posta

POP Post Office Protocol

Semplice ma con funzionalità limitate. Attualmente è in uso la terza versione, POP3.

Fase di autorizzazione

L'accesso avviene con lo **user agent** che **apre una connessione TCP sulla porta 110** e si autentica con i comandi

user: specifica lo username

pass: specifica la password

ed il server risponderà con OK o ERR.

Fase di transazione

Il client può utilizzare i comandi:

list: visualizza la **lista dei messaggi**
retr: **preleva il messaggio** per numero
dele: **elimina il messaggio dal server**
quit: **chiude la sessione**

Fase di aggiornamento

Dopo aver ricevuto quit il server cancella i messaggi marcati per la rimozione

Il POP3 ha due modalità:

Delete: i messaggi vengono automaticamente eliminati dalla mailbox **dopo il prelievo**

Keep: i messaggi vengono conservati dopo il prelievo

Inoltre non mantiene le informazioni di stato tra le sessioni, solo le cancellazioni sono permesse.

IMAP Internet Mail Access Protocol

Ha più funzionalità, ed è più complesso, del POP3. Consente tra le altre cose di **manipolare i messaggi memorizzati sul server** con cartelle, e di **estrarre solo alcuni componenti dei messaggi** come solo l'intestazione se si sta usando una connessione lenta.

HTTP

Es. Hotmail, Yahoo! Mail, ...

21 Livello di Trasporto

21.1 Obiettivi

Realizzare una **connessione logica** fra processi residenti in **host diversi**.

Logico I processi si comportano **come se gli host fossero direttamente collegati**, non si preoccupano dei dettagli dell'infrastruttura usata fisica per la comunicazione.

Offrire servizi allo strato applicativo

Un'applicazione **interagisce con i protocolli di trasporto per trasmettere e ricevere dati**. L'applicazione sceglie lo stile di trasporto: sequenza di **messaggi singoli** o una **sequenza continua di byte**. Il programma applicativo **passa i dati nella forma richiesta al livello di trasporto** per la consegna.

Utilizza i servizi dello strato di rete.



I servizi di trasporto:

Forniscono la **comunicazione logica** fra processi applicativi di host differenti

I **protocolli** di trasporto vengono **eseguiti nei sistemi terminali**

21.2 Caratteristiche

Servizio privo di connessione In un servizio privo di connessione il **processo mittente consegna i messaggi al livello di trasporto uno per uno**. Il livello di trasporto **tratta ogni messaggio come entità singola** senza mantenere alcuna relazione fra essi. I segmenti possono **non essere consegnati o non arrivare in ordine**.

Servizio orientato alla connessione In un servizio orientato alla connessione client e server **stabiliscono una connessione logica**.

21.3 Servizi offerti

Multiplexing e Demultiplexing Il termine **multiplexing** si riferisce al caso in cui **un'entità riceve informazioni da più di una sorgente**. Lo strato trasporto **provvede allo smistamento dei pacchetti fra rete e applicazioni**.

Demultiplexing invece al caso in cui **un'entità trasmette informazioni a più di un destinatario**. Lo strato trasporto provvede all'**accompagnamento dei flussi dati dai processi verso la rete**, "imbustando" i dati ricevuti dall'alto con un preambolo.

Il livello di trasporto effettua il **multiplexing sul mittente** e il **demultiplexing sul destinatario**.

Si basano sui socket address dei processi e quindi dipendono dal numero di porta su cui i processi sono attivi.

Controllo degli errori

22 UDP

Rispetto al TCP, lo UDP è meno complesso, offre meno servizi, ma è **più indicato in contesti in cui occorre un controllo completo della temporizzazione** cioè in applicazioni time-sensitive come lo streaming.

Nessuna garanzia Lo User Datagram Protocol è un **protocollo di consegna a massimo sforzo**. I segmenti UDP possono andare perduti o essere consegnati fuori sequenza. Notare però che l'affidabilità può essere aggiunta a livello applicazione.

Orientato al messaggio Ogni datagramma UDP è **indipendente** dall'altro. I processi devono inviare **messaggi di dimensioni limitate, incapsulabili in un datagramma UDP**.

22.1 Proprietà

Nessuna connessione quindi non si introduce ritardo.

Semplice: non viene gestito lo strato di connessione. Le intestazioni sono corte e **non ha controllo di congestione e di flusso**, quindi si possono sparare dati a raffica.

Checksum facoltativo

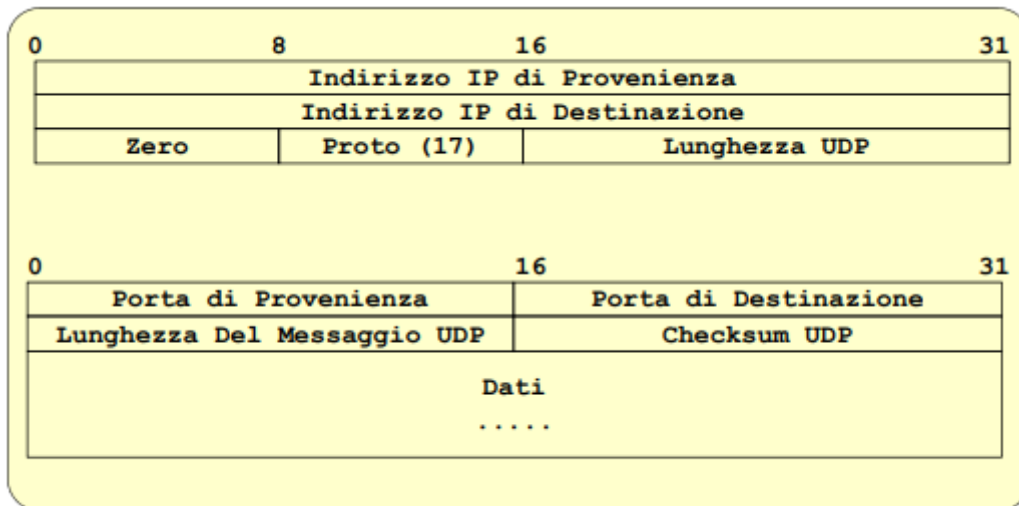
Facile e leggero da gestire, non richiede particolari meccanismi

Concepito solo in funzione del DNS e del TFTP, nel 1980

Utilizzato spesso in **applicazioni multimediali**: tolleranza a piccole perdite e sensibilità alla frequenza

Altri impieghi: DNS, SNMP...

22.2 Datagramma UDP



8 Byte di intestazione

La prima parte è uno pseudo-header che *non* viene trasmesso

Porta: numeri di porta della comunicazione (per il demultiplexing è usato solo quello di destinazione).

La **porta di provenienza** è un campo facoltativo. Quando è significativo, indica la porta del processo mittente, e può essere considerata come la porta alla quale rispondere in assenza di altre informazioni. Se non è usata, viene riempita col valore 0.

Lunghezza del messaggio: lunghezza totale del datagramma UDP, header+dati, è di 65535 Byte.

Checksum checksum dell'intero pacchetto, compreso lo pseudo-header ovvero con il controllo dell'indirizzo host). **Opzionale**, se non è usato è posto a 0xFF (complemento a 1 di 0x00)

Controllo dell'errore end-to-end: il pacchetto corrotto è scartato ma l'utente non viene notificato

L'indirizzo di livello trasporto è una coppia composta dall'indirizzo IP e dalla porta del destinatario (con indicazione dell'indirizzo IP e della porta del mittente)

22.3 Calcolo del checksum

Mittente

Tratta il contenuto del segmento **come una sequenza di interi da 16 bit**

Checksum: somma (complemento a 1) i contenuti del segmento

Il mittente pone il valore della checksum nel campo checksum del segmento UDP

Destinatario

Calcola il checksum del segmento ricevuto

Controlla se il checksum calcolato è **uguale** al valore del campo checksum

No – Errore rilevato

Si – Nessun errore rilevato

22.4 TCP vs UDP

UDP

Trasferimento dati **non affidabile**

Non fornisce: setup della **connessione**, **affidabilità**, **controllo del flusso**, **controllo della congestione**, **timing** o **garanzia di banda**

Richiede **minor overhead**

TCP

Connection-oriented: richiesto **handshake** tra client e server

Trasporto affidabile tra i processi

Controllo di flusso: il mittente non satura il destinatario

Controllo della congestione: limita il mittente a rete sovraccarica

Non fornisce: **timing**, **banda minima**

Pro e contro Nella programmazione di rete si deve ricordare che

Il TCP offre un **servizio di trasporto a stream**, quindi si può leggere da un input di rete quanti byte si desiderano

L'UDP invece offre un **servizio a messaggi**, quindi occorre **leggere tutto** il messaggio in arrivo

L'UDP è adeguato per

Processi che richiedono uno scambio di dati con volume limitato **in caso di scarso interesse al controllo del flusso e degli errori**

Processi con **meccanismi interni di controllo del flusso e degli errori**

Trasmissioni **multicast**

Applicazioni interattive in tempo reale che non tollerano ritardi variabili

Considerazioni La RFC 768 che definisce l'UDP è del 1980, non è stata cambiata o integrata da altre RFC ed è di tre pagine.

La RFC 793 che definisce il TCP è del 1981, è stata aggiornata o cambiata da diverse altre RFC, ad esempio

2018 - TCP Selective Acknowledgement Options

1146 - TCP Alternate Checksum Options

2581 - TCP Congestion Control

1323 - TCP Extensions for High Performance

1693 - An Extension to TCP : Partial Order Service

1792 - TCP/IPX Connection Mib Specification

e la lunghezza totale è di 85 pagine, con un glossario di 67 voci.

23 TCP

23.1 Proprietà

Orientato allo stream La **lunghezza in byte** è **indefinita** a priori. Il servizio di consegna a destinazione passa esattamente la medesima sequenza di byte che il mittente ha passato al servizio di consegna nell'origine.

Il TCP vede i **dati come un flusso di byte ordinati**, ma **non strutturati**.



Orientato alla connessione I processi effettuano un **handshake** prima dello scambio dei dati. L'**handshake** è uno **scambio di informazioni preliminari per preparare il trasferimento dei dati**.

Orientato perché **lo stato della connessione risiede sui punti terminali**, non sugli elementi intermedi della rete (es. router).

La **connessione è vista dagli applicativi (USERS) come un circuito fisico dedicato**. Il **TCP** è quindi capace di **fornire servizi di tipo connection-oriented**, mentre il protocollo **IP** su cui si appoggia è in grado di **fornire servizi connection-less**.

Connessione full-duplex Il **flusso dati tra due host può avvenire contemporaneamente nelle due direzioni**. Le due direzioni sono slegate e la connessione è punto-a-punto.

Trasferimento bufferizzato Il software del protocollo TCP è libero di **suddividere lo stream in segmenti indipendenti** (pacchetti), in maniera indipendente dal programma applicativo che li ha generati. Per fare questo è **necessario disporre di un buffer dove immagazzinare la sequenza di byte**. Appena i dati sono sufficienti per riempire un **datagramma** ragionevolmente grande, questo viene trasmesso attraverso la rete.

23.2 Funzioni del segmento TCP

Funzioni base per il trasferimento di dati:

Capacità di trasferire un **flusso continuo** di byte

Trasferimento bidirezionale (**full duplex**)

Multiplexing: consente di assegnare una data **connessione** ad un dato processo.

Permette una comunicazione da processo a processo.

Controllo della connessione: meccanismi di inizio e fine trasmissione (controllo della sessione)

Trasferimento dati ordinato e affidabile: si intende la capacità di correggere tutti i tipi di errore, quali:

- dati corrotti
- segmenti persi
- segmenti duplicati
- segmenti fuori sequenza

Controllo di flusso: evitare di spedire più dati di quanti il ricevitore sia in grado di trattare

Controllo di congestione: ha lo scopo di recuperare situazioni di sovraccarico nella rete