

Reti di Calcolatori e Laboratorio

Federico Matteoni

Indice

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduzione | 2 |
| 2 | Rete | 2 |
| 2.1 | Tipi di Rete | 2 |
| 2.2 | Internetwork | 3 |
| 2.3 | Switching | 3 |
| 3 | Internet | 4 |
| 3.1 | Enti Ufficiali | 4 |
| 3.2 | Reti di accesso | 5 |
| 4 | Metriche di Riferimento | 5 |
| 5 | Modelli Stratificati | 6 |
| 5.1 | Perché stratificare | 6 |
| 5.2 | Smistamento Intermedio | 7 |
| 5.3 | Elementi fondamentali | 7 |
| 5.4 | Modalità di Servizio | 7 |
| 5.5 | Vantaggi | 7 |
| 6 | Protocolli | 8 |
| 6.1 | Incapsulamento | 8 |
| 7 | OSI RM (Open Systems Interconnction Reference Model) | 8 |
| 7.0.1 | Pila di protocolli | 8 |
| 8 | Flusso dell'Informazione | 9 |
| 9 | Stack protocollare TCP/IP | 10 |
| 9.1 | I Livelli | 10 |
| 9.2 | Livello Applicativo | 11 |
| 9.2.1 | Protocollo a Livello Applicativo | 11 |
| 9.2.2 | Paradigmi | 11 |
| 9.2.3 | Componenti di un'Applicazione di Rete | 11 |
| 9.2.4 | Terminologia | 12 |
| 9.2.5 | Identificazione di un Processo | 12 |
| 9.2.6 | Esempio di API: TCP | 12 |
| 9.2.7 | Uso dei Servizi di Trasporto | 13 |

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, ...

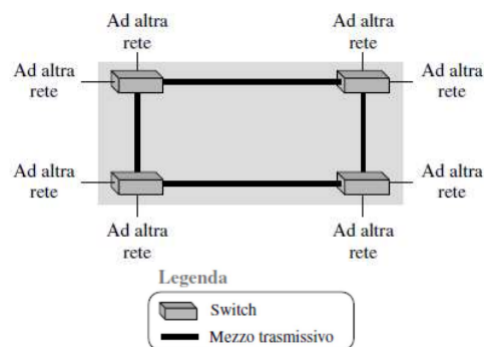
Con il termine **host** si può anche indicare un **server**.

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..

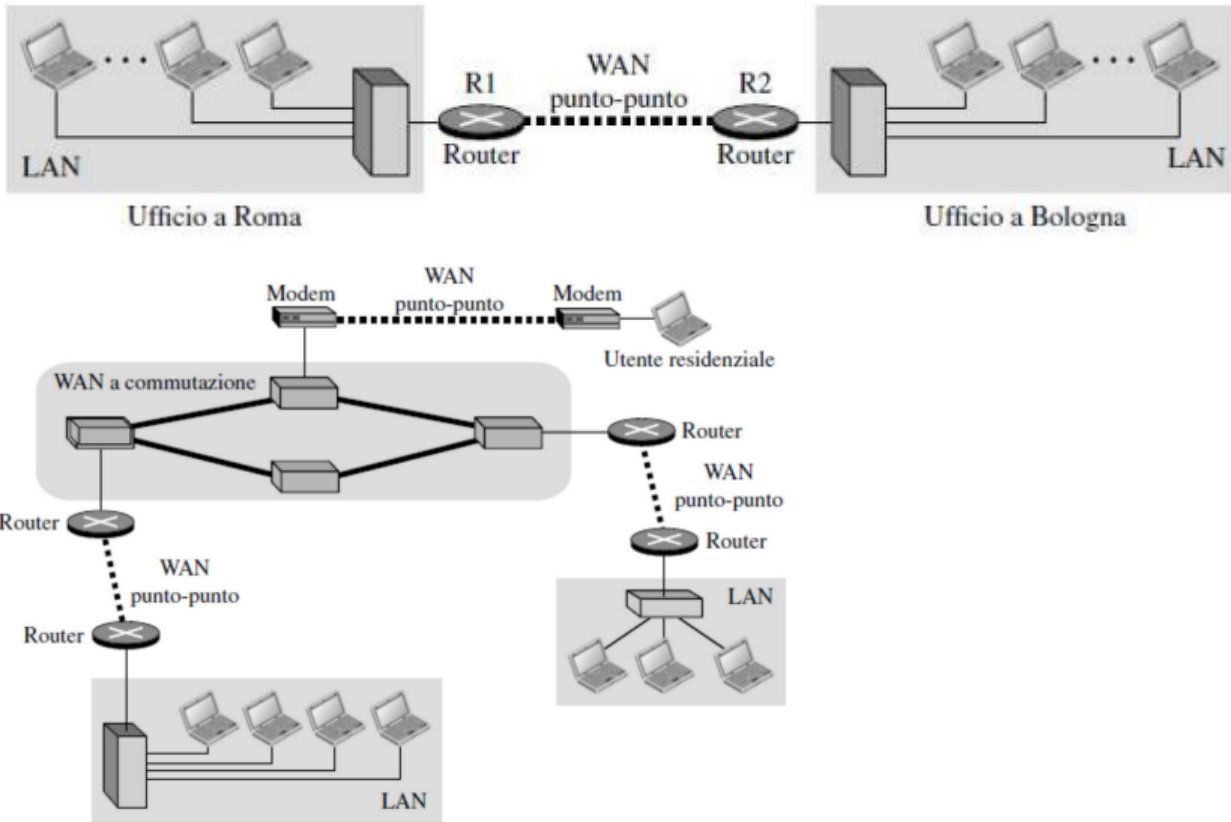
In una rete locale tipicamente una serie di host comunicano tra loro attraverso, ad esempio, uno switch centrale.

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

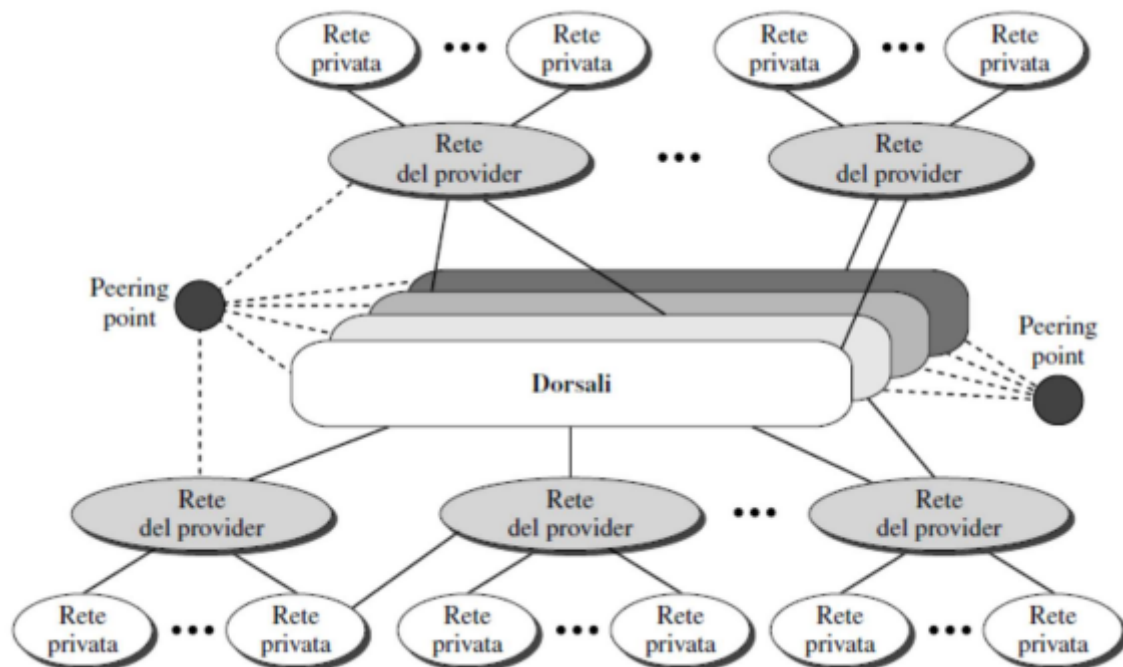
Standard di internet e del web: RFC (Request for Comments) e W3C.

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

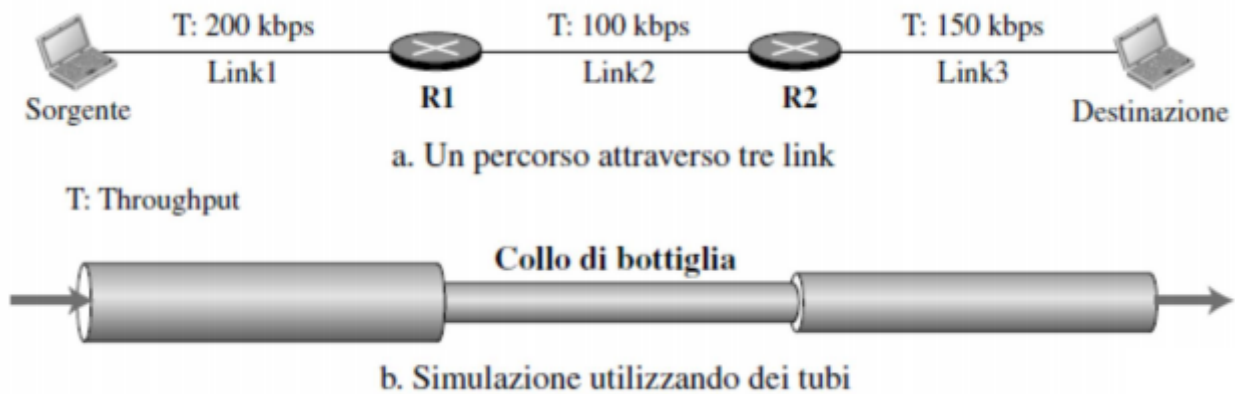
Come misurare le prestazioni della rete? Tramite una serie di metriche:

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...).

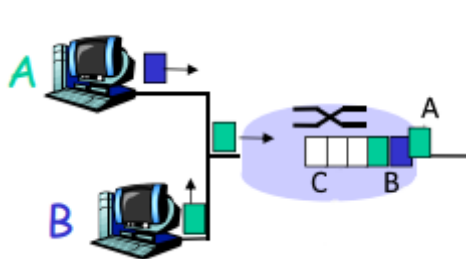


Non è detto che corrisponda alla bandwidth perché ci potrebbe essere un collo di bottiglia.

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.

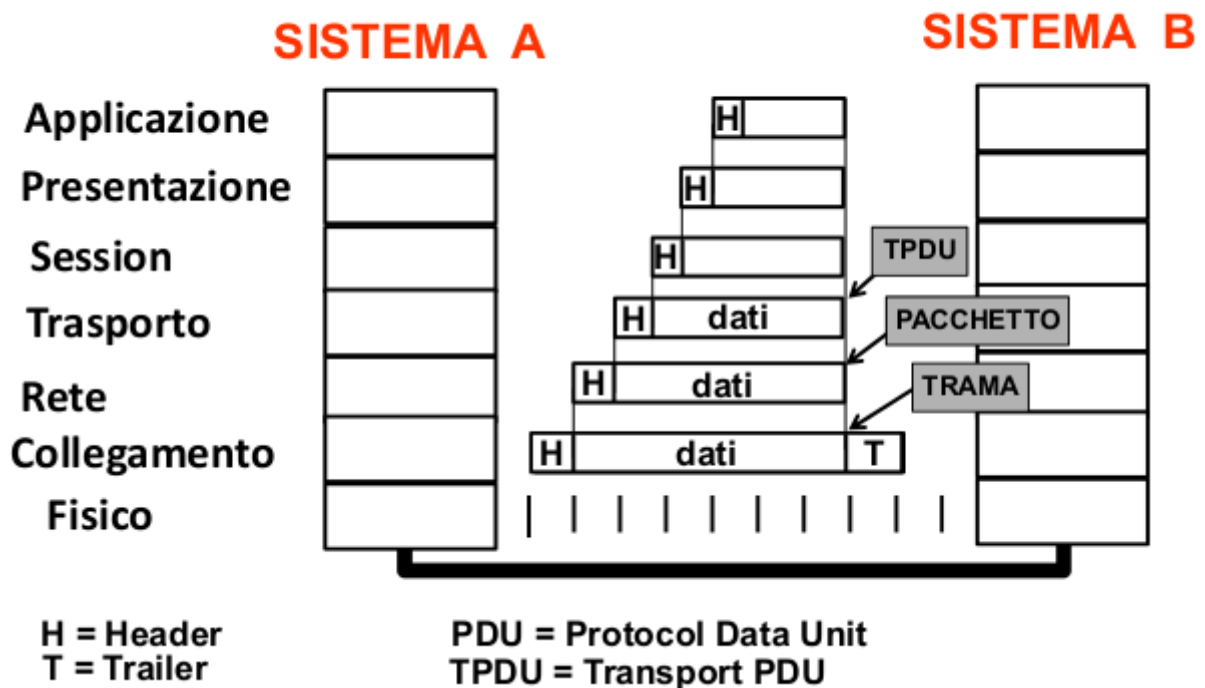
Il **processo di incapsulamento** è quindi **reversibile**: ogni livello esegue una operazione di incapsulamento su dati già incapsulati dal livello precedente, in modo tale da garantire la possibilità di estrarre i dati precedentemente incapsulati.

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

Strato di rete e funzioni

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

Risoluzione IP e MAC, ARP

IPv4: formato datagramma ip, frammentazione

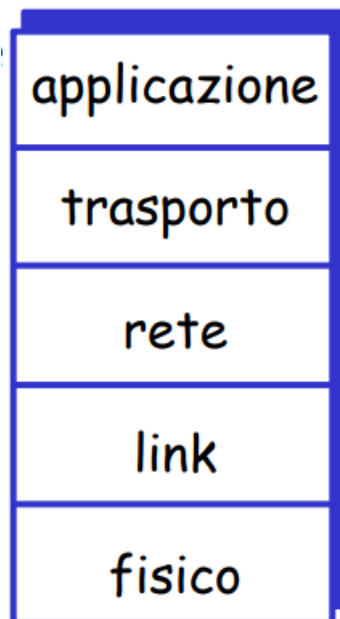
Routing IP e istradamento

Introduzione IPv6

Livello Link Trasferimento dati tra elementi di rete vicini

Ethernet

Livello Fisico Bit sul filo



9.2 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.

9.2.1 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

9.2.2 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.

9.2.3 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:

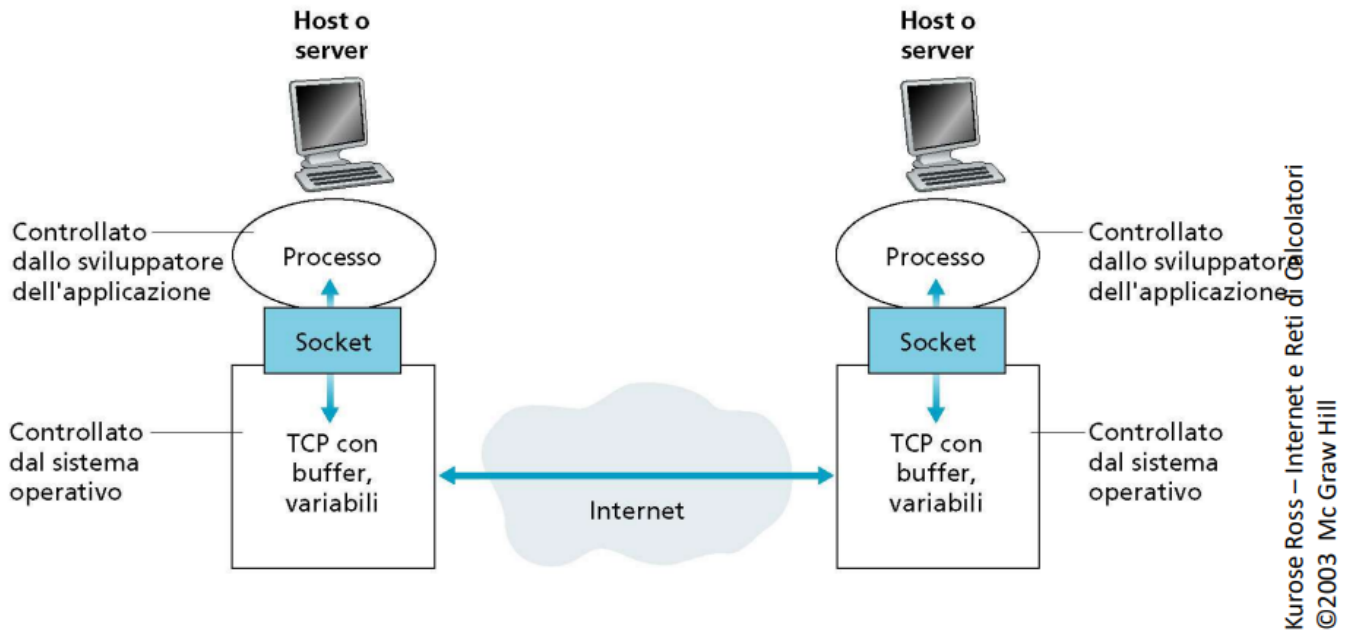
- Programmi di lettura e scrittura sul **client**
- **Server** di posta in internet
- **Standard per il formato** dei messaggi
- **Protocolli** SMTP, POP3 ecc.

9.2.4 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.

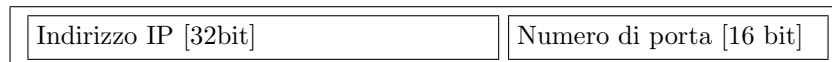
9.2.5 Identificazione di un Processo



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>



9.2.6 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
```

9.2.7 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?