



## Introduzione

### Obiettivo:

- Introduzione alle reti di telecomunicazioni
- approccio:
  - descrittivo
  - uso di Internet come esempio

### Sommario:

- Introduzione
- Cos'è Internet
- Cos'è un protocollo?
- network edge
- network core
- Reti di accesso, mezzi trasmissivi
- backbones (dorsali), NAP, ISP



## Reti di computer: Esempi

- **Condivisione risorse:**
  - Non è economico comprare 1 stampante laser (o uno scanner) per ogni personal
- **Condivisione di programmi e dati da parte di utenti**
  - Base di dati a cui molti utenti (da diversi computer) possono accedere:
    - sistema di prenotazioni e assegnamento posti di una compagnia aerea
    - sistema informativo di una banca



## Reti di computer: Esempi

- **Comunicazione tra utenti in località fisiche differenti (scambio di messaggi e dati)**
  - comunicazioni in ambito di ricerca
  - utilizzo di basi di dati in località remote
  - lavoro cooperativo
  - possibilità di svolgere attività di lavoro a casa (tele-lavoro)
  - accesso a informazioni di varia natura



## Reti di computer

- È possibile identificare due tipologie di reti di computer
  - **reti locali** che collegano elaboratori vicini tra di loro
  - **reti geografiche** che collegano elaboratori in località remote

## Le reti di computer: hardware

- Per avere una rete è indispensabile il collegamento fisico tra diversi computer
  - Meccanismi in grado di trasmettere informazioni (canali di comunicazione)
    - cavi elettrici
    - cavi a fibre ottiche
    - linee telefoniche
    - trasmissioni via satellite
    - trasmissione via onde radio
  - Meccanismi in grado di connettere i computer con i vari canali di comunicazione
    - interfacce
    - modem

Informatica Generale-- R. Gaeta

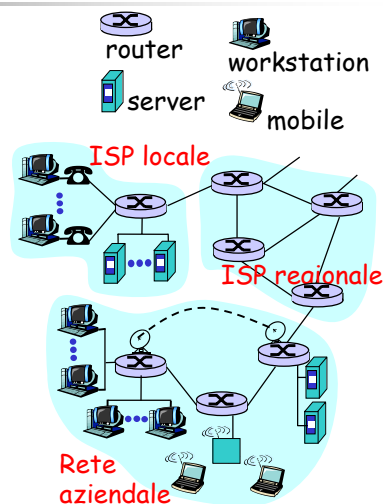
## Le reti di computer: il software

- Sono inoltre necessari meccanismi software per permettere ai vari computer di *dialogare* e di *gestire la comunicazione*
  - **protocolli (convenzioni) di comunicazione**
  - invio e ricezione di messaggi
  - **meccanismi di indirizzamento (come identificare un computer)**
  - spedizione sulle connessioni opportune
  - verifica correttezza dei messaggi durante la trasmissione
  - protezione dei messaggi (per evitare intercettazione)
  - ottimizzazione della comunicazione
  - gestione del traffico sulla rete

Informatica Generale-- R. Gaeta

## Cos'è Internet?

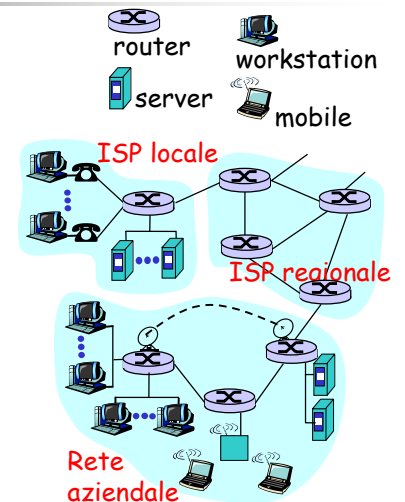
- Milioni di dispositivi di calcolo tra loro interconnessi: *host, end-systems* (principalmente computer)
  - Pc, workstation, server
  - PDA's phones, toastersChe eseguono *applicazioni di rete*
- **Canali di comunicazione**
  - fibra, rame, radio, satellite
- **Router:** instradano pacchetti di dati attraverso la rete



Informatica Generale-- R. Gaeta

## Cos'è Internet?

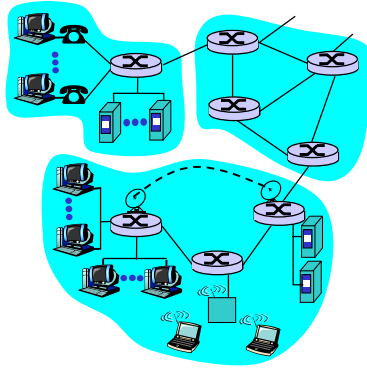
- **protocolli:** controllano la spedizione e la ricezione di messaggi
  - e.g., TCP, IP, HTTP, FTP, PPP
- **Internet: "rete di reti"**
  - Debolmente gerarchica
  - Internet pubblica vs intranet private
- Standard di Internet
  - RFC: Request for comments
  - IETF: Internet Engineering Task Force



Informatica Generale-- R. Gaeta

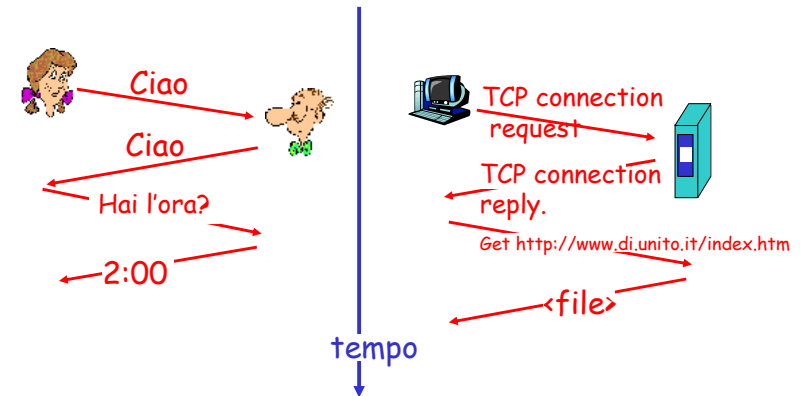
## Cos'è Internet: accento sui servizi

- **Infrastruttura di comunicazione** che consente ad applicazioni distribuite lo scambio di dati:
  - WWW, email, giochi, e-commerce, database, file (MP3) sharing



## Cos'è un protocollo?

Un protocollo umano e un protocollo di reti di computer:



Domanda: Altri protocolli umani?

## Cos'è un protocollo?

### Protocolli umani:

- "Che ora è?"
- "Ho una domanda"
- Presentazioni...

... messaggi specifici vengono spediti

... azioni specifiche sono compiute quando i messaggi sono ricevuti, o in seguito ad altri eventi

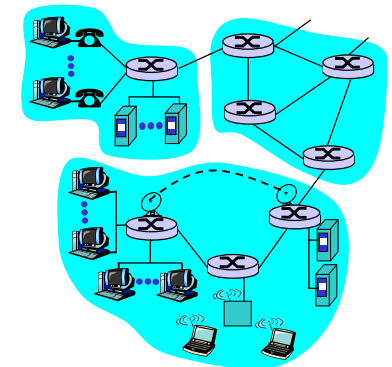
### Protocolli di rete:

- macchine invece di esseri umani
- Tutte le attività di comunicazione in Internet sono governate da protocolli

*I protocolli definiscono formato e ordine dei messaggi spediti e ricevuti tra entità della rete, e le azioni da compiere in seguito alla ricezione e/o trasmissione dei messaggi o di altri eventi*

## Struttura della rete

- **network edge:** applicazioni ed host
- **network core:**
  - router
  - rete di reti
- **reti di accesso, mezzi trasmissivi:** canali di comunicazione



## La edge network:

### • end systems (host):

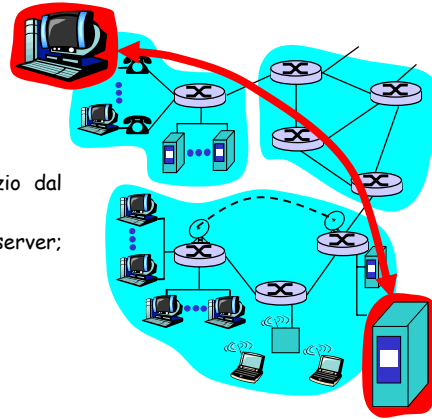
- Eseguono programmi applicativi
- e.g., WWW, email
- al "bordo della rete"

### • modello client/server

- il client richiede, riceve servizio dal server
- e.g., WWW client (browser)/ server; email client/server

### • modello peer-peer:

- interazione tra host simmetrica
- e.g.: Gnutella, KaZaA



## La edge Network: TCP

**Obiettivo:** trasferimento dati tra host **Servizio TCP** [RFC 793]

- **handshaking:** fase di preparazione antecedente al trasferimento dati
  - Ciao - Ciao nel protocollo umano
  - **Stabilire uno "stato"** nei due host comunicanti
- **TCP - Transmission Control Protocol**
  - Servizio di scambio dati di tipo connection-oriented di Internet
- **Trasferimento affidabile ed ordinato di byte di un flusso dati**
  - perdite: conferma di ricezione (acknowledgement) e ri-trasmissione
- **Controllo di flusso**
  - Il mittente non sovraccaricherà il ricevitore
- **Controllo di congestione:**
  - I mittenti diminuiscono la loro velocità di spedizione quando la rete si congestiona

## La edge Network: UDP

**Obiettivo:** trasferimento dati tra host

- Esattamente lo stesso!
- **UDP** - User Datagram Protocol [RFC 768]: Servizio connectionless di Internet
  - Senza handshaking
  - Trasferimento dati non-affidabile
  - senza controllo di flusso
  - senza controllo congestione

**Applicazioni che usano TCP:**

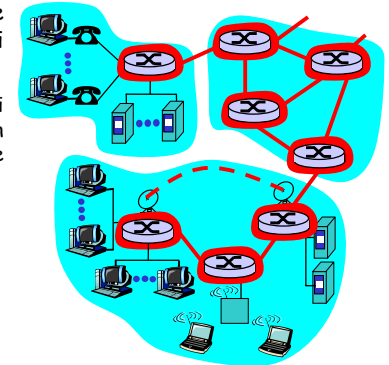
- HTTP (WWW), FTP (trasferimento file), Telnet (login remoto), SMTP (email)

**Applicazioni che usano UDP:**

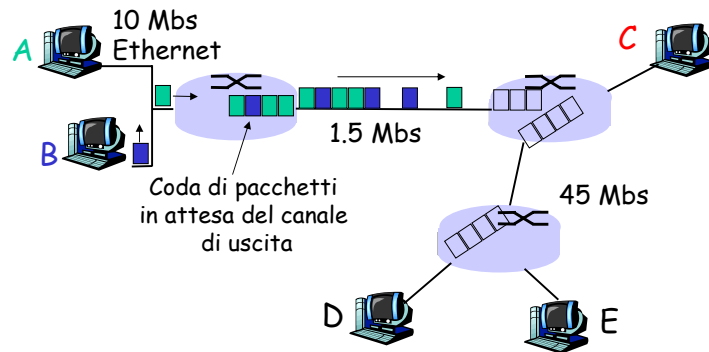
- streaming media, teleconferencing, Internet telephony

## La Core Network

- Maglia di router interconnessi
- **Domanda fondamentale:** come vengono trasferiti i dati attraverso la rete?
  - **Commutazione di pacchetto:** i dati sono spediti attraverso la rete in quantità discrete chiamate **pacchetti**



## La core Network: commutazione di pacchetto



Informatica Generale-- R. Gaeta

17

## La Core Network: commutazione di Pacchetto

Ogni flusso dati viene diviso in **pacchetti**

- I pacchetti degli utenti A e B *condividono* risorse di rete
- Ogni pacchetto usa tutta la larghezza di banda (capacità di trasmissione in bit al secondo) del canale
- Risorse usate quando sono necessarie

Contesa delle risorse:

- La richiesta aggregata di risorse può eccedere l'ammontare disponibile
- congestione: i pacchetti si accodano ed attendono l'uso del canale
- store and forward: pacchetti ricevuti interamente prima di essere spediti

Informatica Generale-- R. Gaeta

18

## Reti a commutazione di pacchetto: routing

- **Obiettivo:** spostare pacchetti tra router, dal host sorgente all'host destinatario
- **Caratteristiche:**
  - L'indirizzo destinazione determina il prossimo passo
  - Le strade (route) possono variare durante le sessioni
  - I router NON mantengono informazioni sullo stato delle connessioni

Informatica Generale-- R. Gaeta

19

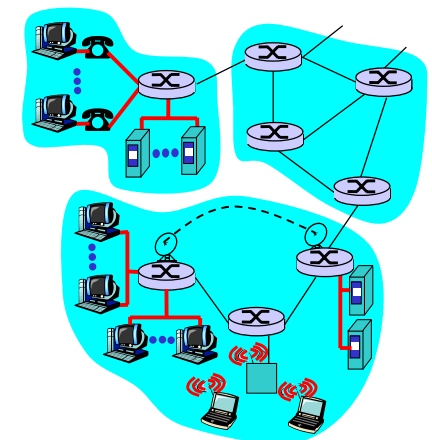
## Reti di accesso e mezzi trasmissivi

**Domanda:** come si connettono gli host agli edge router?

- Reti di accesso residenziale (da casa)
- Reti di accesso istituzionali (scuole, università, aziende)
- Reti di accesso mobili

**Caratteristiche:**

- Larghezza di banda (bit al secondo) delle reti di accesso
- Condivise o dedicate?

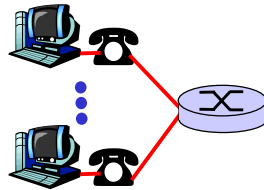


Informatica Generale-- R. Gaeta

20

## Accesso Residenziale: accesso point to point

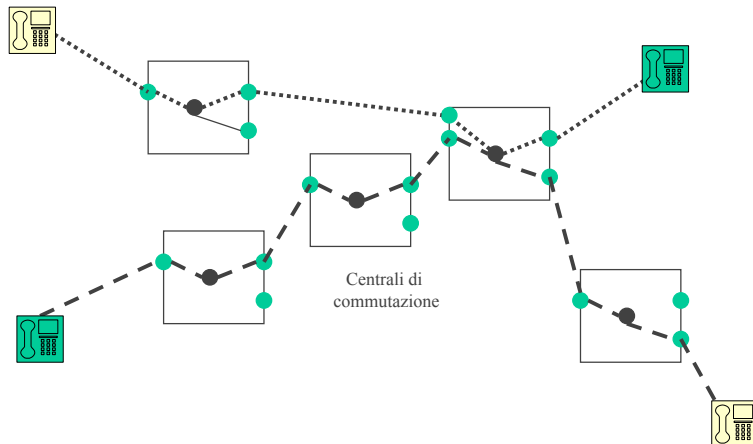
- **Connessione telefonica via modem**
  - Fino a 56Kbps di accesso diretto ad un router (in teoria)
- **ISDN:** integrated services digital network: connessione completamente digitale a 128Kbps verso un router
- **ADSL:** asymmetric digital subscriber line
  - Fino a 1 Mbps casa-router
  - Fino a 20 Mbps router-casa
  - Diffusione ADSL: **in corso**



## Rete telefonica

- Originariamente progettata e realizzata per la trasmissione della voce (cioè di suoni)
- Può essere sfruttata anche per trasmettere dati da un terminale ad un calcolatore o tra elaboratori.

## Rete telefonica

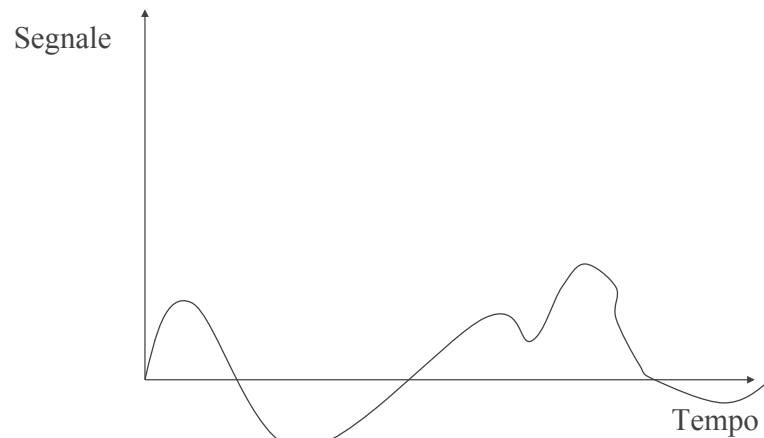


## Come funziona le rete telefonica

- L'apparato fonico di un uomo (polmoni, corde vocali, bocca,...) produce nell'aria un'onda di pressione acustica
- Il microfono della cornetta converte quel segnale in un segnale elettrico che ha esattamente la stessa forma

**MA QUESTO LO SAPETE GIÀ**

## Come funziona le rete telefonica



Informatica Generale-- R.Gaeta

22

## Come funziona le rete telefonica

- Il segnale elettrico viaggia sul doppino telefonico (coppia di di fili) ed arriva all'apparecchio del ricevente
- L'altoparlante della cornetta del ricevente esegue l'inverso del microfono del trasmettente convertendo il segnale elettrico in un'onda acustica ANALOGA a quella che aveva colpito il microfono.

Informatica Generale-- R.Gaeta

23

## Il modem

- La rete telefonica trasmette suoni
- Un calcolatore vuole trasmettere informazioni codificate usando un opportuno numero di bit
- Ci vuole un dispositivo che esegue la conversione da bit a "fischio"
- MODulatore-DEModulatore

Informatica Generale-- R.Gaeta

24

## Il modem

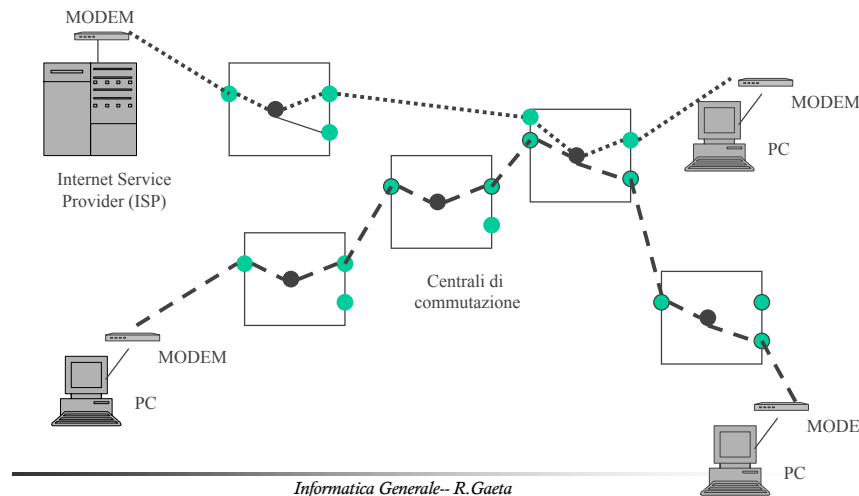
- Se si deve trasmettere un bit che vale 1 allora il modem fischia una certa nota lungo la linea telefonica altrimenti se deve trasmettere uno 0 fischia una nota differente
- Chiaramente, il ricevitore deve avere un modem che esegue il lavoro opposto: se sente un fischio con una la nota associata al bit uguale a 0 allora trasmette al computer un bit 0 altrimenti nell'altro caso trasmette un 1



Informatica Generale-- R.Gaeta

25

## Rete telefonica



Informatica Generale-- R. Gaeta

22

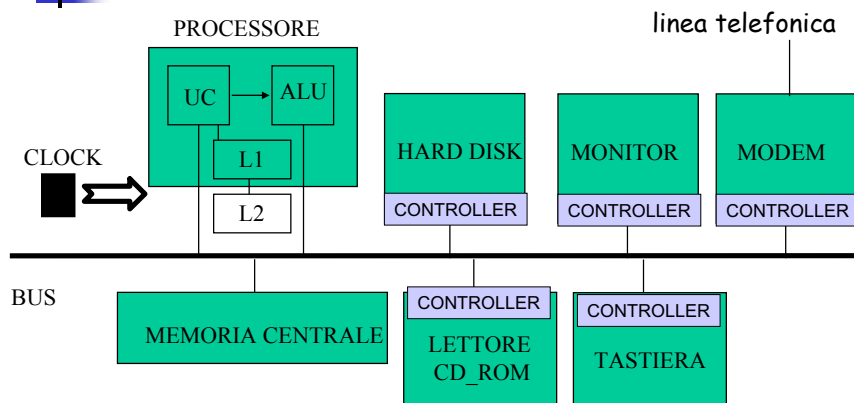
## Difetti e pregi della rete telefonica

- Trasmette solo nel campo delle frequenze che vanno da 400 a 3.400 Hertz (4KHz è considerata la frequenza massima della voce umana)
- Il numero di bit al secondo che si riesce a trasmettere è, nei casi migliori, dell'ordine di 30.000 bit/s (**Quanti caratteri di un testo al secondo? Quanti pixel di un'immagine al secondo?**)
- I tempi per stabilire una connessione sono lunghissimi (qualche secondo) se comparati a quelli di un computer
- La rete telefonica è molto disturbata per la trasmissione dati quindi spesso si deve ritrasmettere i dati
- Diffusa capillarmente su tutta la Terra

Informatica Generale-- R. Gaeta

23

## Interazione tra processore, cache, memorie e dispositivi di I/O e modem



Informatica Generale-- R. Gaeta

24

## Accesso Residenziale: cable modems

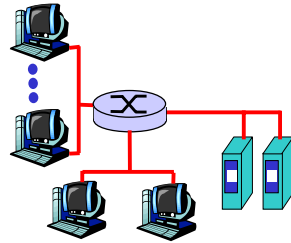
- **HFC: hybrid fiber coax**
  - asimmetrico: fino a 10Mbps router-casa, 1 Mbps casa-router
- **rete** di cavi and fibre connettono abitazioni ai router di ISP
  - Accesso condiviso tra le abitazioni al router
  - problemi: congestione, dimensionamento
- diffusione: disponibile, in USA, dalle compagnie di TV via cavo

Informatica Generale-- R. Gaeta

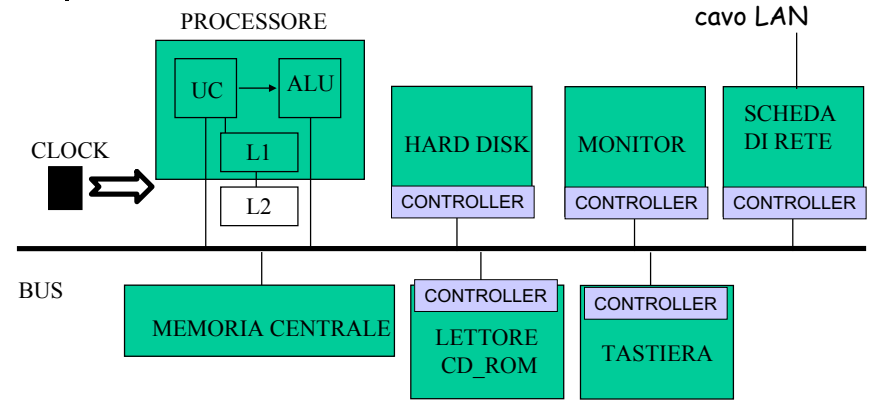
25

## Accesso Istituzionale: local area networks

- La **local area network** (LAN) di aziende, università, connette host ad un edge router
- **Ethernet** (non confondetelo con Internet!!):
  - Cavo condiviso o dedicato connette gli host ed il router
  - 10 Mbs, 100Mbps, Gigabit Ethernet
  - ogni host deve avere una scheda di rete (dispositivo connesso al bus di sistema e al cavo condiviso)
- **diffusione:** istituzioni, LAN casalinghe, attuale

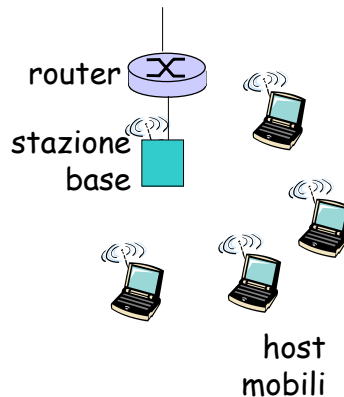


## Interazione tra processore, cache, memorie e dispositivi di I/O e scheda Ethernet (LAN)

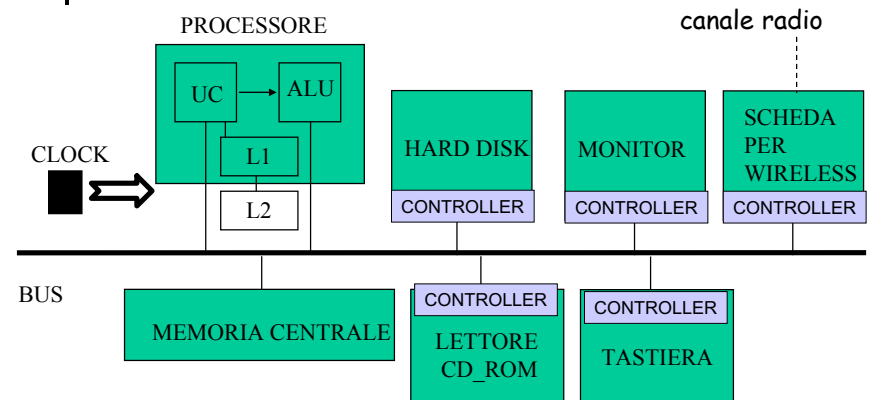


## Reti di accesso Wireless

- Una rete condivisa di accesso **wireless** connette host a router
- **wireless LAN:**
  - Spettro radio sostituisce il cavo
  - IEEE 802.11.x
- **Accessi wireless in area geografica**
  - Cellular Digital Packet Data (CDPD): accesso wireless al router di un ISP attraverso la rete cellulare
  - GPRS (Generalized Packet Radio Service)
  - UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
  - HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)



## Interazione tra processore, cache, memorie e dispositivi di I/O e Wireless adapter



## Mezzi trasmissivi

- **Canali fisici:** bit di dati trasmessi si propagano lungo il canale
- **Mezzi guidati:**
  - segnali si propagano in mezzi solidi: rame, fibra
- **Mezzi non guidati:**
  - Segnali si propagano liberamente, e.g., radio

### Twisted Pair (TP)

- Due cavi di rame isolati ed intrecciati
  - Categoria 3: doppino telefonico, 10 Mbps Ethernet
  - Categoria 5 TP: 100Mbps Ethernet



## Mezzi trasmissivi: cavi coassiali, fibra

### Cavo coassiale:

- Conduttore rame (portante segnale)
- Strato di plastica isola il conduttore da uno schermo di metallo intrecciato (per bloccare interferenze esterne)
- bi-direzionale
- Uso tipico per 10Mbps Ethernet



### Cavo in fibra ottica:

- Fibra di vetro che trasporta impulsi ottici
- Operazioni ad alta velocità:
  - 100Mbps Ethernet
  - Alta velocità di trasmissione punto-punto (e.g., 5 Gps)
- Bassa probabilità di errore



## Mezzi trasmissivi: radio

- Segnale trasportato nello spettro elettromagnetico
- Nessun cavo fisico
- bi-direzionale
- Effetti dell'ambiente sulla propagazione:
  - riflessione
  - ostruzione (oggetti ostacolo)
  - interferenza

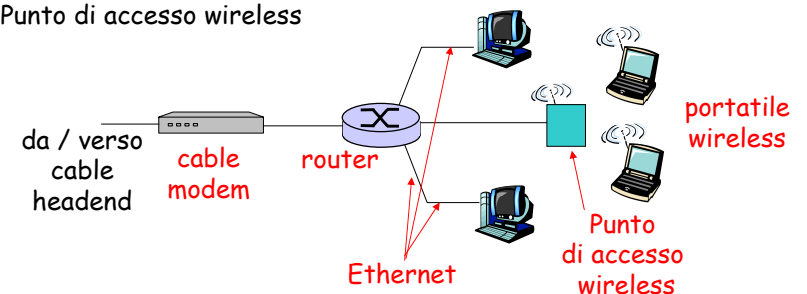
### Tipi di canali radio:

- **microonde**
  - e.g. fino a 45 Mbps
- **LAN** (e.g., WaveLAN)
  - 2Mbps, 11Mbps
- **Area geografica cellulare** (e.g.,
  - e.g. CDPD, 10 Kbps
- **satellite**
  - fino a 50Mbps

## Reti residenziali: il futuro?

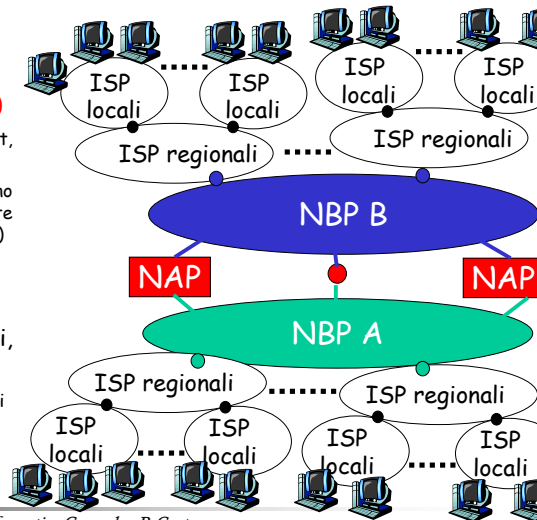
### Componenti tipiche:

- Modem ADSL o per cavo
- router
- Ethernet
- Punto di accesso wireless



## Struttura di Internet: rete di reti

- a grandi linee gerarchica
- **national/international backbone providers (NBP)**
  - e.g. BBN/GTE, Sprint, AT&T, IBM, UUNet
  - si inter-connettono direttamente, o tramite Network Access Point (NAP)
- **ISP regionali**
  - connettono ai NBP
- **ISP locali**, privati, istituzioni
  - connettono agli ISP regionali



Informatica Generale-- R.Gaeta

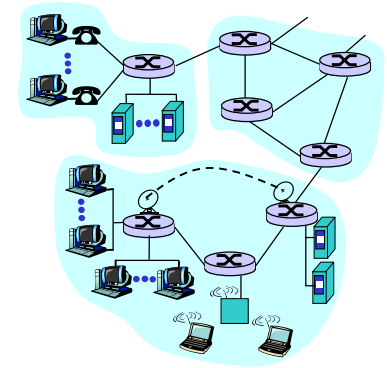
## Applicazioni e protocolli a livello applicazione

### Applicazione: processi distribuiti comunicanti

- vengono eseguiti sugli host di rete come processi utente
- scambio di messaggi per implementare l'applicazione
- e.g., email, ftp, Web

### Protocolli a livello Applicazione

- una parte di un'applicazione
- definiscono i messaggi scambiati dall'applicazione e le azioni intraprese
- Usano i servizi di comunicazione forniti da protocolli a livello sottostante (TCP, UDP)



Informatica Generale-- R.Gaeta

## Applicazioni di rete: terminologia

- **Processo:** programma in esecuzione in un host.
- processi in esecuzione su host diversi (distanti) comunicano con un **protocollo a livello applicazione**
- **user agent:** processo software, che si interfaccia con l'utente "verso l'alto" e con la rete "verso il basso".
  - implementa il protocollo a livello applicazione
  - **Web:** browser
  - **E-mail:** mail reader
  - **streaming audio/video:** media player

Informatica Generale-- R.Gaeta

## Paradigma Client-server

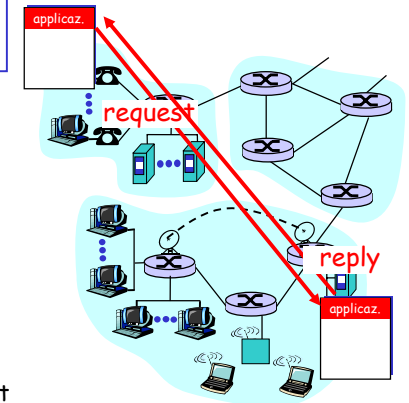
Una tipica applicazione di rete si compone di due parti: **client** e **server**

### Client:

- Avvia il contatto con il server ("parla per primo")
- Solitamente, richiede un servizio al server
- **Web:** il client è implementato nel browser; **e-mail:** in mail reader

### Server:

- Fornisce il servizio richiesto al client
- e.g., il Web server spedisce la pagina Web richiesta, il mail server recapita l'e-mail



Informatica Generale-- R.Gaeta

## Di quale servizio di trasporto necessita un'applicazione?

### Perdita di dati

- Alcune applicazioni (e.g., audio) possono tollerare perdite
- Altre applicazioni (e.g., trasferimento file, telnet) richiedono un trasferimento dati affidabile al 100%

### Time-sensitive

- Alcune applicazioni (e.g., telefonia su Internet, giochi interattivi) richiedono piccoli ritardi

### Larghezza di banda

- Alcune applicazioni (e.g., multimediali) richiedono un ammontare minimo di larghezza di banda per essere "efficaci"
- Altre applicazioni ("applicazioni elastiche") fanno uso di qualunque larghezza di banda riescono ad ottenere

## Requisiti del servizio di Trasporto di applicazioni comuni

Applicazione	Perdite dati	Larghezza di banda	Time Sensitive
trasferimento file	senza	elastica	no
e-mail	senza	elastica	no
documenti Web	tollerante	elastica	no
real-time audio/video	tollerante	audio: 5Kb-1Mb video: 10Kb-5Mb	si, alcuni 100 msec
stored audio/video	tollerante	come sopra	si, pochi secs
giochi interattivi	tollerante	alcuni Kbps	si, alcuni 100 msec
applicazioni finanziarie	senza	elastica	si e no

## Servizi di trasporto in Internet

### Servizio TCP:

- *connection-oriented*: fase iniziale di "setup" necessaria tra client e server
- *trasporto affidabile* tra processo mittente e destinatario
- *controllo di flusso*: il mittente non sovraccaricherà il ricevitore
- *controllo di congestione*: regolazione della velocità del mittente quando la rete è sovraccarica
- *non fornisce*: tempi, garanzie su larghezza di banda minima

### Servizio UDP:

- trasferimento dati non affidabile tra processo mittente e processo destinatario
- non fornisce: setup della connessione, affidabilità, controllo di flusso, controllo di congestione, tempi o larghezza di banda garantiti

**Domanda:** perché mai esiste UDP?

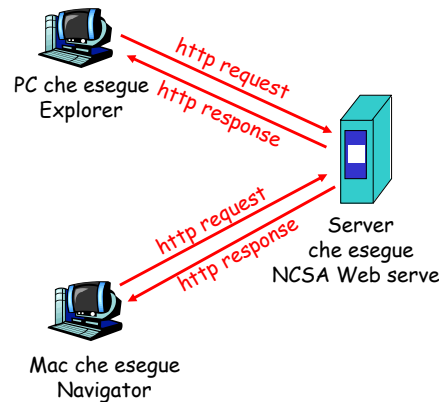
## Applicazioni Internet: protocolli a livello applicazione e trasporto

Applicazione	Protocollo a livello applicazione	Protocollo a livello trasporto sottostante
e-mail	smtp [RFC 821]	TCP
accesso a terminale remoto	telnet [RFC 854]	TCP
Web	http [RFC 2068]	TCP
trasferimento file	ftp [RFC 959]	TCP
streaming multimedia	proprietario (e.g. RealNetworks)	TCP or UDP
file server remoto	NSF	TCP or UDP
telefonia su Internet	proprietario (e.g., Vocaltec)	solitamente UDP

## Il Web: il protocollo http

### http: hypertext transfer protocol

- Protocollo a livello applicazione per il Web
- Modello client/server
  - *client*: il browser che richiede, riceve e mostra oggetti Web
  - *server*: Web server che spedisce oggetti in risposta ad una richiesta
- http1.0: RFC 1945
- http1.1: RFC 2068-2616



## Il WEB: terminologia

- **pagina WEB (documento)**: collezione di oggetti
  - **oggetto**: un file (HTML, JPEG, ...)
  - **file HTML base**: con direttive e riferimenti ad altri oggetti
  - **URL (Uniform Resource Locator)**: meccanismo di identificazione risorse. Si compone del nome del host sul quale risiede l'oggetto e il path-name dell'oggetto
    - [www.di.unito.it/various/presentation\\_en.html](http://www.di.unito.it/various/presentation_en.html)
- nome host
path-name

## Il protocollo http

### http: usa servizio TCP:

- il client avvia una connessione TCP con il server
- il server accetta la connessione TCP dal client
- vengono scambiati messaggi http (messaggi del protocollo di livello applicazione) tra il browser (client http) ed il Web server (server http)
- la connessione TCP viene chiusa

### http è "stateless"

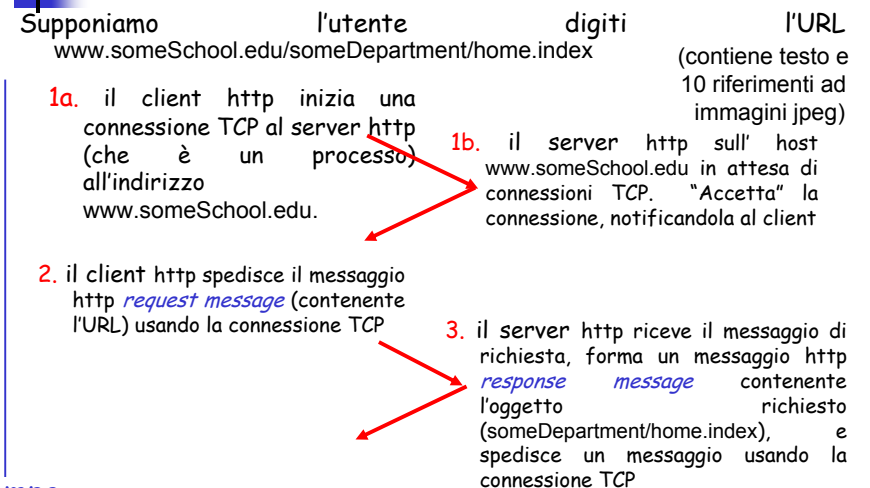
- il server non mantiene alcuna informazione sulle richieste passate dei client

**nota**

**I protocolli che mantengono lo stato sono complessi!**

- Tutta la storia passata della connessione (stato) deve essere mantenuta, memorizzata
- se server o client subiscono un crash, la loro conoscenza dello stato può essere inconsistente e deve essere ricostruita

## http: esempio



## http: esempio (continuazione)

- tempo ↓
- il server http chiude la connessione TCP.
  - il client http riceve il messaggio di risposta contenente il file html e lo mostra. Parsifica (analizza) il file html, trova i riferimenti a 10 oggetti jpeg.
  - passi 1-5 si ripetono per ognuno dei 10 oggetti jpeg.

## Formato dei messaggi http: request

- due tipi di messaggi http: *request, response*
- http request message:
  - ASCII (formato human-readable)

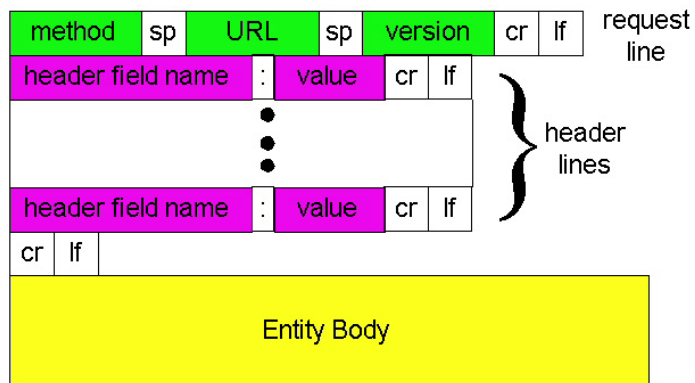
request line  
comandi GET, POST, HEAD

```
GET /somedir/page.html HTTP/1.0
Host: www.someschool.edu
User-agent: Mozilla/4.0
Accept: text/html, image/gif, image/jpeg
Accept-language: fr
```

linee header

Carriage return, line feed (extra carriage return, line feed)  
indicano la fine del messaggio

## http request message: formato generale



## Formato dei messaggi http: response

status line  
(codice di stato del protocollo frase di stato)

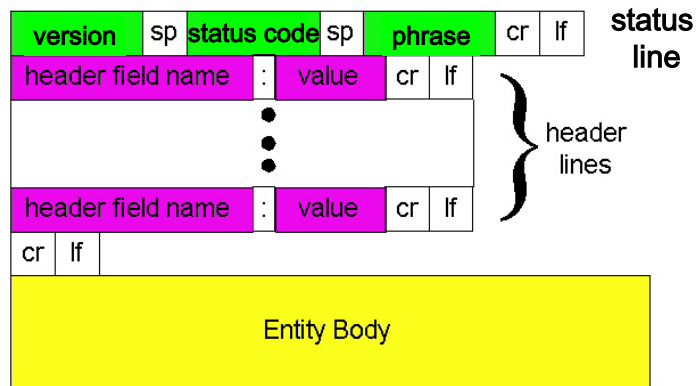
```
HTTP/1.0 200 OK
Date: Thu, 06 Aug 1998 12:00:15 GMT
Server: Apache/1.3.0 (Unix)
Last-Modified: Mon, 22 Jun 1998 .....
Content-Length: 6821
Content-Type: text/html
```

linee header

dati, e.g., file html richiesto

```
data data data data data ...
```

## http response message: formato generale



## Codici di stato per http response

Nella prima linea del response message server->client.

Alcuni codici d'esempio:

### 200 OK

- richiesta con successo, l'oggetto richiesto segue in questo messaggio

### 301 Moved Permanently

- L'oggetto richiesto è stato spostato, la nuova locazione è specificata dopo in questo messaggio (Location:)

### 400 Bad Request

- request message non compreso dal server

### 404 Not Found

- Documento richiesto non trovato su questo server

### 505 HTTP Version Not Supported

## Provate http (lato client)

1. Collegatevi con telnet ad un Web server:

```
telnet www.eurecom.fr 80
```

Aprire una connessione TCP su www.eurecom.fr. Qualunque cosa si digiti viene spedita al web server su www.eurecom.fr

2. Digitate un http request GET:

```
GET /~ross/index.html HTTP/1.0
```

Digitando questo (digitate due volte carriage return), spedite un minimale (ma completo) GET request al server http

3. Guardate il response message spedito dal server http!

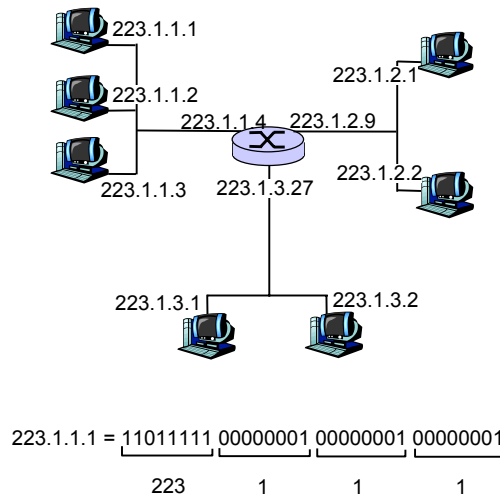
## Protocolli a livello applicazione

domanda: come fa un processo ad identificare l'altro processo con il quale vuole comunicare?

- "*numero di porta*" - permette all'host che riceve di determinare a quale dei processi che sta eseguendo (locali) debba essere recapitato il messaggio
- Indirizzo IP dell'host sul quale è in esecuzione l'altro processo

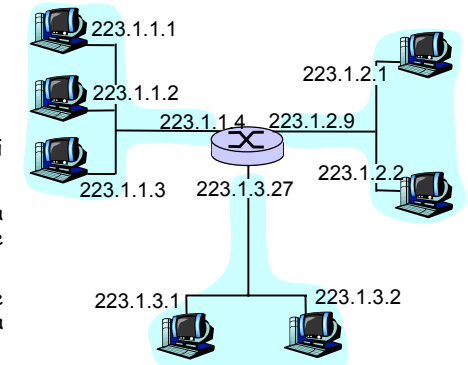
## Indirizzi IP: introduzione

- **indirizzo IP:** identificatore di 32-bit per l'interfaccia di rete di host e router
- **interfaccia di rete:** connessione tra host, router ed il canale fisico
  - i router, tipicamente hanno interfacce multiple
  - gli host possono avere interfacce multiple
  - gli indirizzi IP sono associati alle interfacce e NON agli host o ai router



## Indirizzi IP

- **indirizzo IP:**
  - parte rete (bit più a sinistra)
  - parte host (bit più a destra)
- **Cos'è una rete?** (dal punto di vista dell'indirizzo IP)
  - dispositivi d'interfaccia con la stessa parte rete dell'indirizzo IP
  - possono fisicamente raggiungere l'un l'altra senza l'intervento di router



rete di 3 reti IP  
(per gli indirizzi IP che iniziano con 223.1.1: i primi 24 bit sono l'indirizzo della rete)

## DNS: Domain Name System

**Persone:** molti identificativi:

- # CF, nome, # passaporto

**Host e router in Internet:**

- indirizzo IP (32 bit) - usato per indirizzare i pacchetti
- "nome", e.g., pianeta.di.unito.it - usato dagli esseri umani

**Domanda:** corrispondenza tra indirizzo IP e nome ?

**Domain Name System:**

- **database distribuito** implementato con una gerarchia di **name server**
- **protocollo di livello applicazione** host, router, e name servers comunicano per **risolvere** nomi (traduzione indirizzo/nome)
  - nota: funzione chiave in Internet, implementata come protocollo a livello applicazione
  - complessità nella edge network