Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Reti di Calcolatori

A.A. 2013/2014

Organizzazione del corso

- CFU: **6**
- Lezioni:
  - *Carlo Mastroianni* – ICAR-CNR, Cubo 41c 1° piano
- Esercitazioni:
  - *Giuseppe Papuzzo* – Eco4Cloud, Piazza Vermicelli

Argomenti delle lezioni (1/2)

Concetti introduttivi:

- Introduzione alle reti di calcolatori e ad Internet
- Principi di funzionamento delle reti a pacchetto
- Modelli client-server e peer-to-peer
- Architettura a livelli e protocolli
- Modello ISO/OSI ed architettura TCP/IP

Applicazioni di Internet:

- Il DNS e l'organizzazione a domini
- Posta elettronica ed FTP
- Il Web ed HTTP

Protocolli del livello di trasporto

- I protocolli TCP e UDP
- Funzionalità di TCP per la fornitura di un servizio affidabile

Argomenti delle lezioni (2/2)

Il protocolli IP

- Indirizzamento e routing tramite IP
- Il formato dei pacchetti IP

Sicurezza nelle reti:

- Algoritmi di crittografia a chiave privata ed a chiave pubblica
- Firma digitale e autorità di certificazione,
- Tipologie di attacchi informatici
- Firewall

Applicazioni di rete avanzate:

- Reti peer-to-peer, Grid e Cloud computing

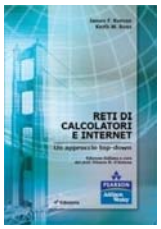
Argomenti delle esercitazioni

- Sviluppo di applicazioni in rete basate su meccanismi di basso livello (socket TCP, datagrammi UDP), mediante le librerie del linguaggio Java
- Crittografia e firma digitale (sempre con Java)

Libro di testo e materiale didattico

Libri di testo (entrambi validi, ma l'ordine degli argomenti è quello del primo testo**)**

- Reti di Calcolatori e Internet – Un approccio top-down", di J.F.Kurose, K.W.Ross, Addison Wesley, 4a edizione, 2008
- Reti di Calcolatori, di Andrew S. Tanenbaum, quarta edizione, Pearson/Prentice Hall, 2003



Lucidi, esercizi, informazioni su esami:

- http://www.icar.cnr.it/mastroianni/reti

Informazioni di base sull'esame

Modalità di svolgimento dell'esame:

- Scritto, con esercizi di programmazione in rete
- Orale (previo superamento dello scritto)

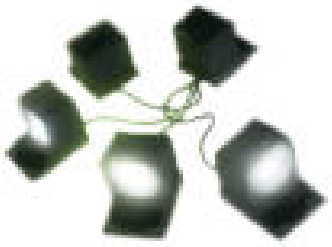
Propedeuticità obbligatoria:

- Fondamenti di Informatica

Propedeuticità consigliate (fortemente!):

- Calcolatori elettronici
- Programmazione ad Oggetti
- Sistemi Operativi (la programmazione in rete richiede familiarità con la programmazione concorrente e l'uso dei thread)

Evoluzione dell'informatica: dai mainframe alle reti



Sistemi centralizzati

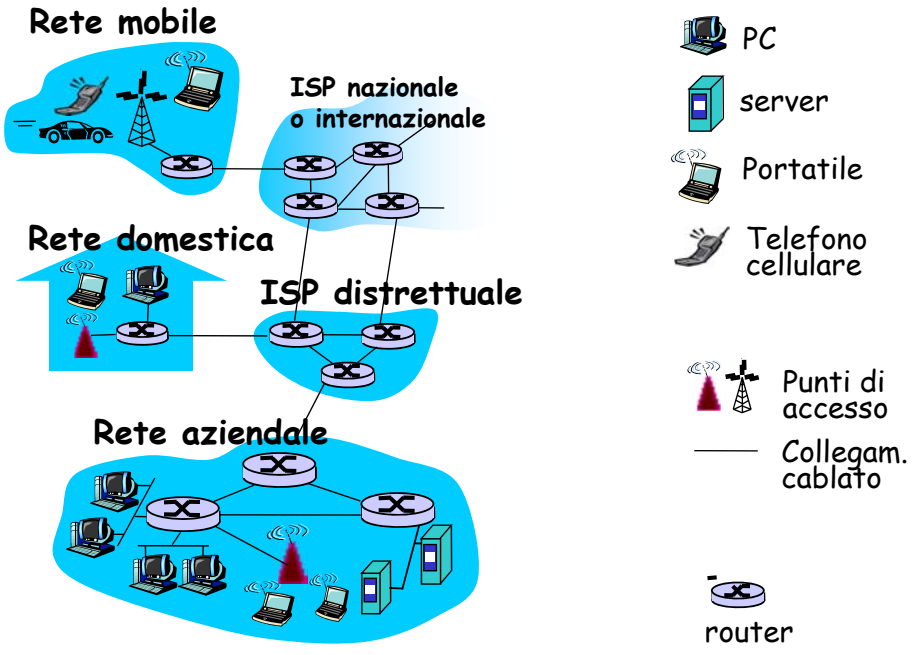
Sistemi di rete

- ✓ Una **Rete di Calcolatori** è un insieme di calcolatori *indipendenti* ed interconnessi tra loro che possono scambiarsi informazioni e cooperare
- ✓ È importante distinguerle dai **sistemi multiprocessore** – e dagli odierni multicore- in cui le unità di elaborazione non sono completamente indipendenti: ad esempio esse condividono una parte di memoria

Reti di calcolatori: motivi per il loro successo

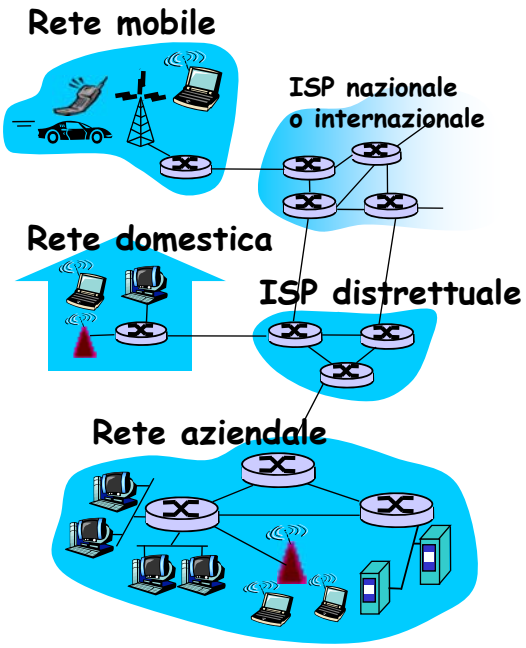
- Condivisione di informazioni e risorse
- Suddivisione di compiti (modello client-server)
- **Comunicazione**
- Affidabilità e Scalabilità
- Applicazioni di **e-commerce**
  - Business-to-Business
  - Business-to-Consumer
  - Peer-to-Peer
- Applicazioni mobili e pervasive (con cellulari, PDA etc.)

Che cos'è Internet?



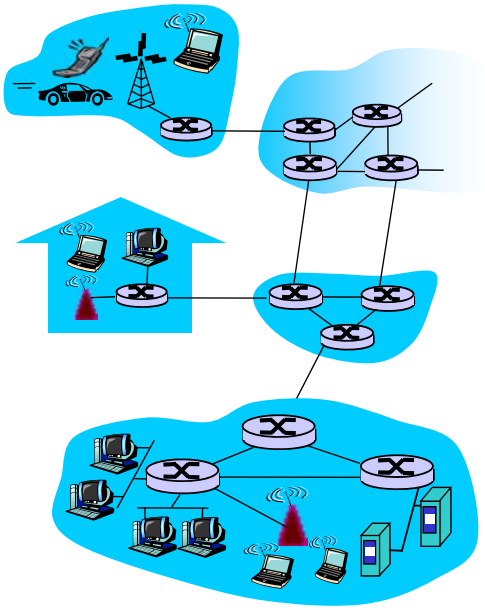
Che cos'è Internet?

- È un insieme di protocolli:
  - Un protocollo definisce il **formato** e le **regole** per lo scambio di messaggi fra due o più entità in comunicazione
  - Esempi: TCP, IP, HTTP, Skype
- È la "rete delle reti"
  - struttura gerarchica
  - Internet pubblica e intranet private
- Un insieme di standard
  - RFC: Request for comments
  - IETF: Internet Engineering Task Force



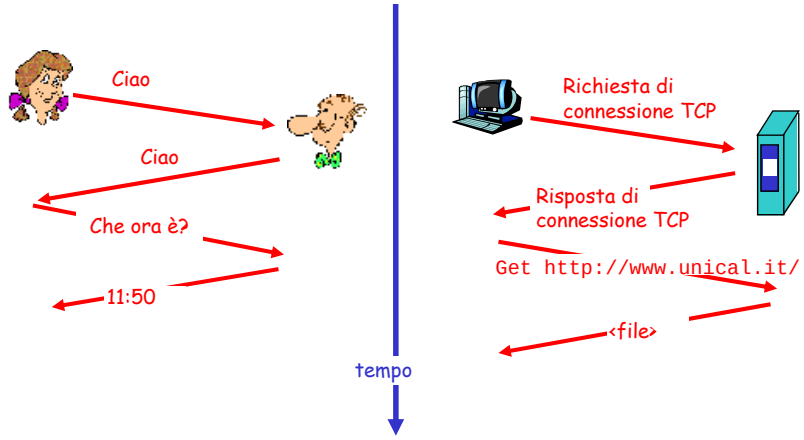
Che cos'è Internet?

- È un'infrastruttura di comunicazione per applicazioni distribuite:
  - Web, VoIP, e-mail, e-commerce, condivisione di file
- Offre servizi di comunicazione appartenenti a due tipologie fondamentali:
  - servizio orientato alla connessione e affidabile
  - servizio "best effort", senza connessione e non affidabile



Che cos'è un protocollo?

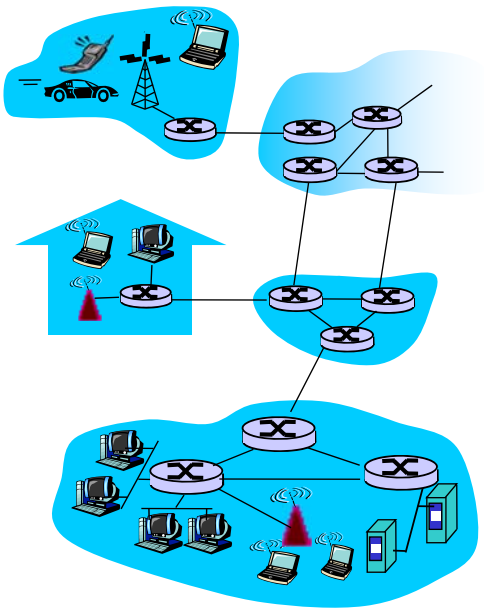
Protocollo umano e protocollo di rete



Un protocollo definisce il formato e l'ordine dei messaggi scambiati tra due o più entità in comunicazione, così come le azioni intraprese in fase di trasmissione e/o ricezione di un messaggio o di un altro evento

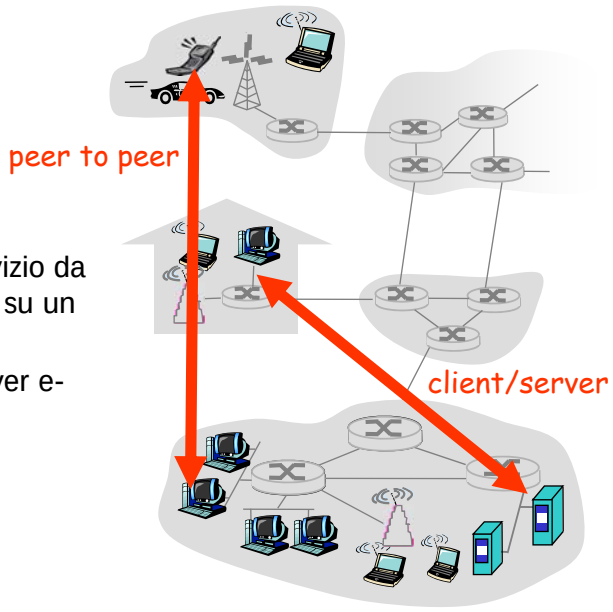
Uno sguardo da vicino alla struttura di rete

1) Ai confini della rete: sistemi terminali (host) ed applicazioni
2) Reti di accesso
3) Nucleo della rete: interconnessione tra router

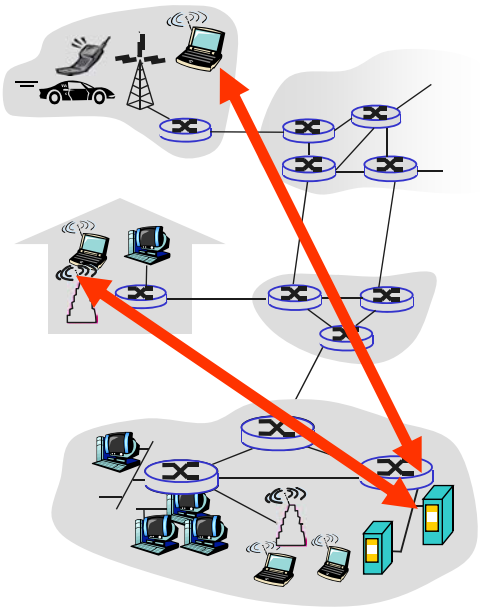


Ai confini della rete

- sistemi terminali (host):
  - eseguono programmi applicativi
  - esempi: Web, e-mail
- interazione client/server
  - l'host client richiede e riceve un servizio da un programma server in esecuzione su un altro terminale
  - es.: browser/server Web; client/server e-mail
- interazione peer-to-peer
  - uso limitato (o inesistente) di server dedicati
  - es.: Skype, BitTorrent



Interazione client-server



server:

- programma sempre attivo
- indirizzo IP fisso
- *server farm* per creare un potente server virtuale

client:

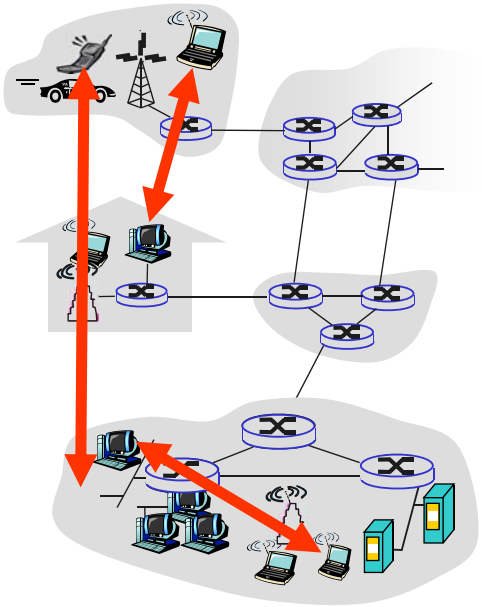
- contatta il server in un qualunque momento
- può avere un indirizzo IP dinamico
- non comunica direttamente con gli altri client

Architettura P2P

- non c'è distinzione tra client e server
- coppie arbitrarie di host (peer) comunicano direttamente tra loro
- i peer non devono essere sempre attivi, e possono cambiare indirizzo IP

Facilmente scalabile

Più difficile da gestire



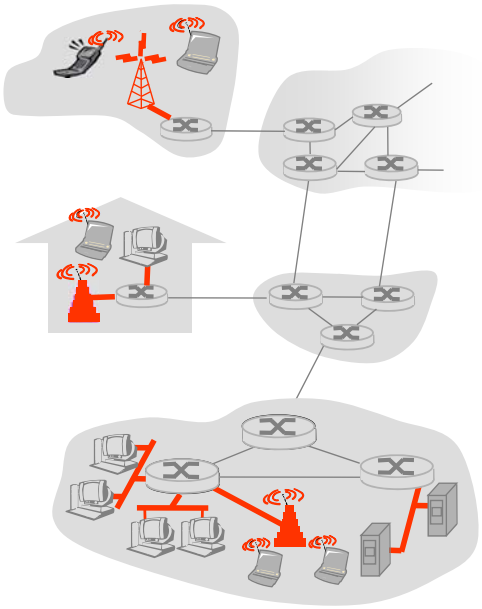
Reti d'accesso e mezzi fisici

Come collegare sistemi terminali e router esterni?

- reti di accesso residenziale
- reti di accesso aziendale (università, istituzioni, aziende)…
- reti di accesso mobile

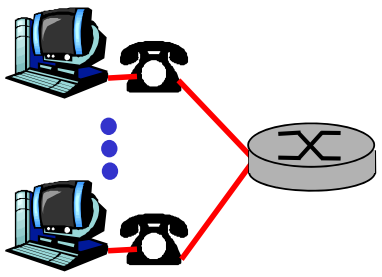
Punti chiave:

- ampiezza di banda (bit al secondo)?
- condivise o dedicate?



Accesso residenziale

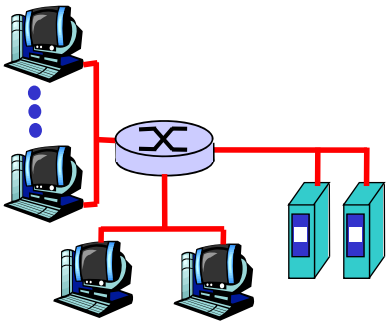
- Modem dial-up (ormai scomparsi)
  - fino a 56 Kbps di accesso diretto al router (ma spesso è inferiore)
  - non è possibile "navigare" e telefonare allo stesso momento

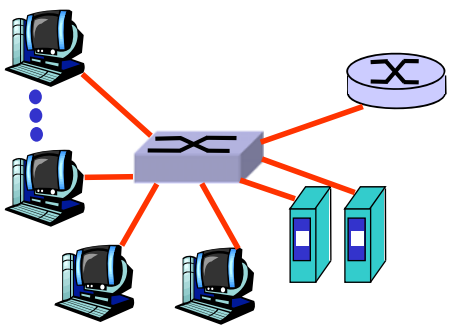


- DSL: digital subscriber line
  - Installazione da parte di una società telefonica
  - fino a 1 Mbps in upstream (in pratica < 256 kbps)
  - fino a 8 Mbps in downstream (in pratica < 1 Mbps)
  - linea dedicata per Internet

Accesso aziendale: reti locali (LAN)

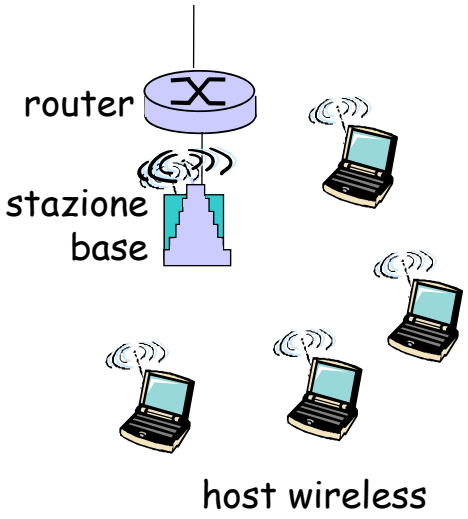
- Una LAN (*Local Area Network*) collega i sistemi terminali di aziende e università al router locale
- La banda è contesa, non dedicata
- Ethernet:
  - 10 Mb, 100 Mb, 1 Giga, 10 Giga
  - Sistemi terminali collegati mediante uno switch Ethernet





Accesso wireless

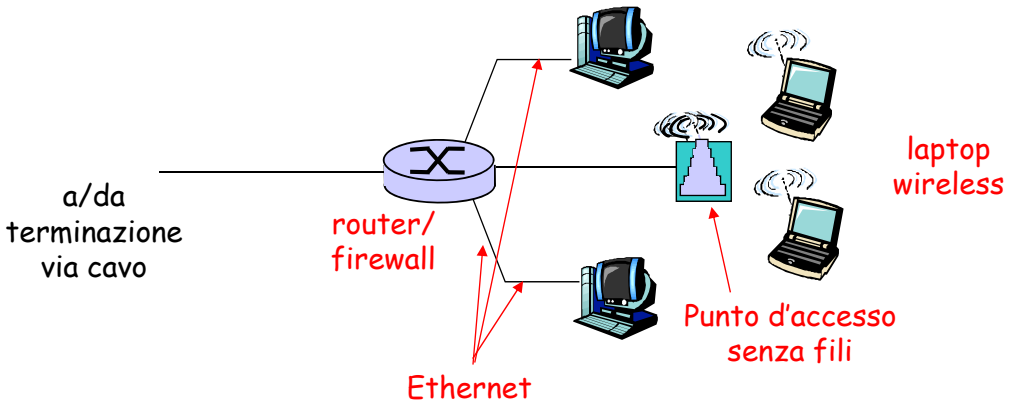
- La rete di accesso al router è senza fili:
  - collegamento attraverso la stazione base, detta anche “access point”
  - la banda è condivisa dagli host
- LAN wireless:
  - 802.11b/g (WiFi): 11 o 54Mbps
- rete d’accesso wireless geografica
  - gestita da un provider di telecomunicazioni
  - ~ 1 Mbps per i sistemi cellulari
  - WiMax per aree più grandi



Reti domestiche

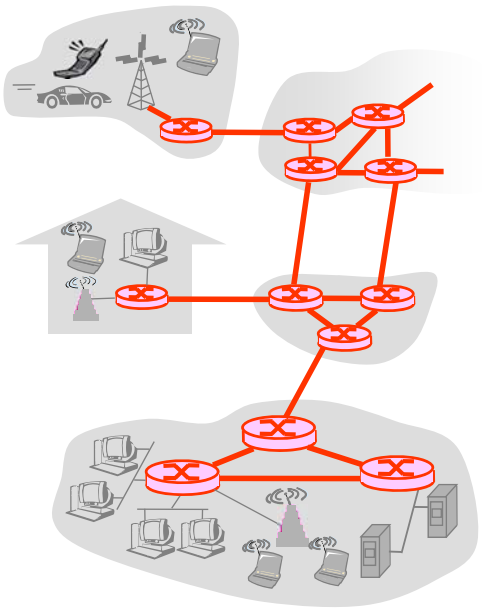
Componenti di una tipica rete da abitazione:

- DSL
- punto d’accesso wireless
- Ethernet (wired)



Il nucleo della rete

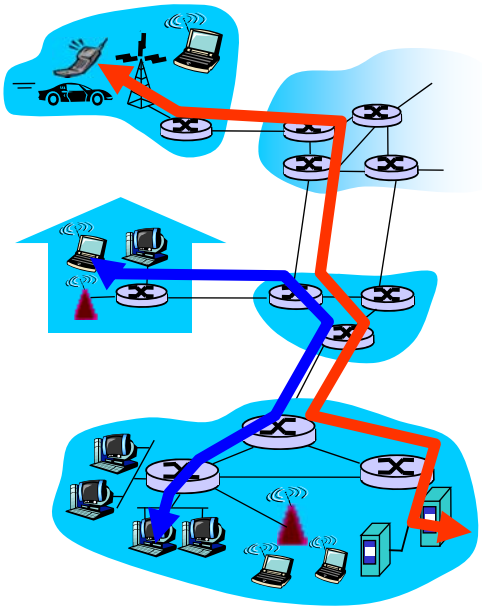
- Rete di router che interconnettono i sistemi terminali
- Come vengono trasferiti i dati attraverso la rete?
  - commutazione di circuito: circuito dedicato per l'intera durata della sessione
  - commutazione di pacchetto: i messaggi di una sessione utilizzano le risorse su richiesta. I canali sono condivisi tra le connessioni attive.



Il nucleo della rete: commutazione di circuito

Commutazione di circuito

- risorse dedicate all'atto di instaurare il circuito: non c'è condivisione dei canali fisici
- prestazioni garantite ma bassa efficienza nell'uso delle risorse
- necessaria l'impostazione della chiamata
- simile alle reti telefoniche



Il nucleo della rete: commutazione di circuito

Risorse di rete suddivise in frazioni:

- ciascuna frazione è assegnata in toto ad una connessione
- le risorse rimangono *inattive* se non utilizzate *(non c'è condivisione)*

Esempi di suddivisione:

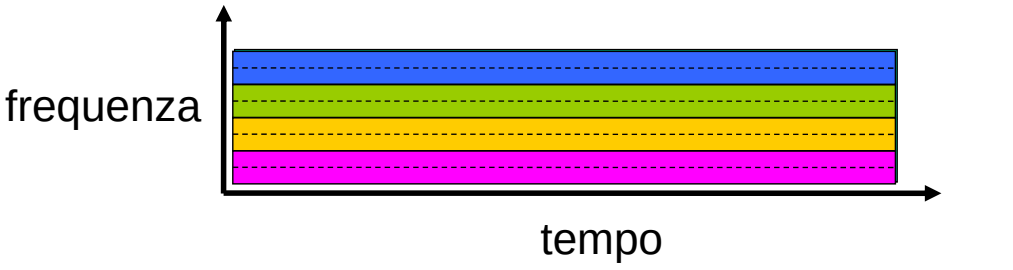
- suddivisione in base alla frequenza (FDM)
- suddivisione in base al tempo (TDM)

Commutazione di circuito: FDM e TDM

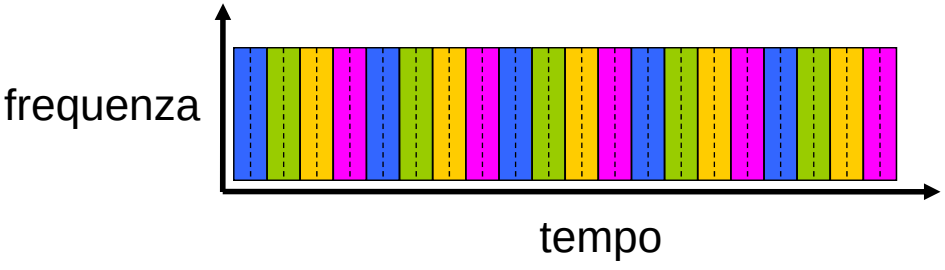
FDM

Esempio:

4 utenti



TDM



Il nucleo della rete: commutazione di pacchetto

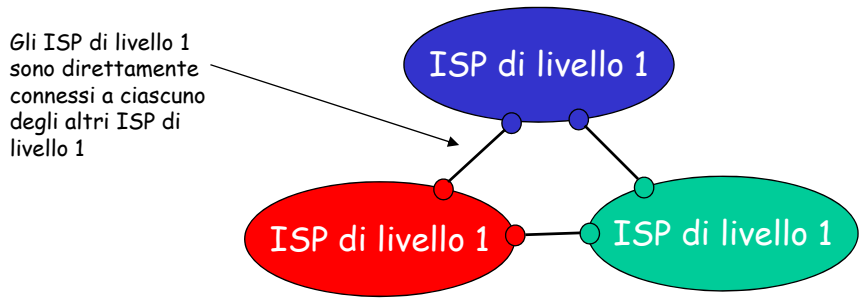
Il flusso di dati viene suddiviso in *pacchetti*

- I pacchetti delle varie connessioni *condividono* le risorse di rete
- Ciascun pacchetto utilizza completamente il canale solo per il tempo necessario alla sua trasmissione
- Le risorse vengono usate *in base alle necessità*
- Meccanismo *store and forward*: il router riceve il pacchetto, lo elabora, e decide su quale linea di uscita ritrasmetterlo
- I pacchetti possono seguire strade diverse dal mittente al destinatario, anche se appartengono alla stessa connessione
- Questo consente di far fronte ai guasti sui router e sulle linee
- L'efficienza nell'uso delle risorse è **molto maggiore**

La commutazione di pacchetto è l'idea di base che ha decretato il successo di Internet

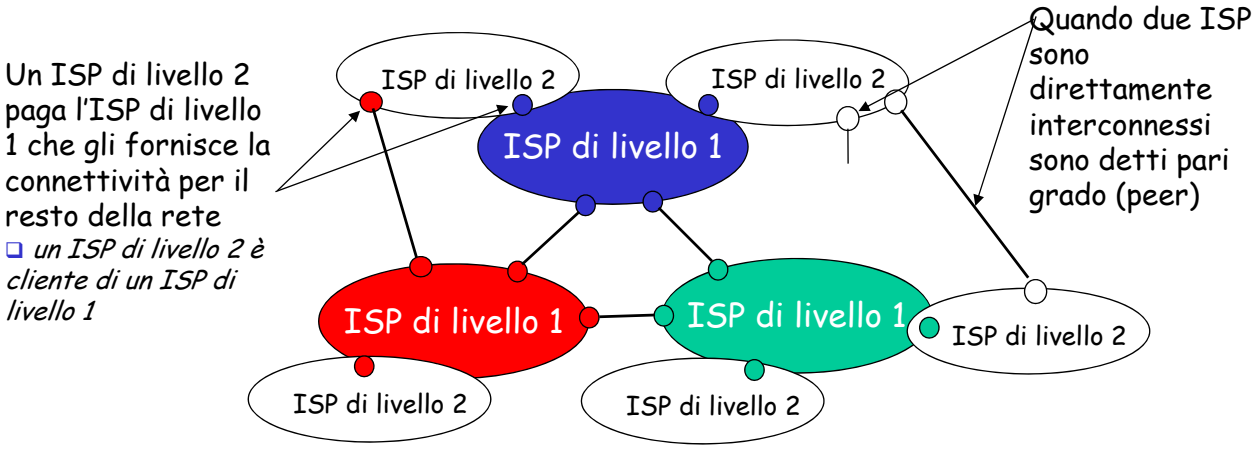
Struttura di Internet

- fondamentalmente gerarchica
- al centro: "ISP di livello 1" (es.: Verizon, Sprint, AT&T, Cable&Wireless), copertura nazionale/internazionale
  - Comunicano tra di loro come "pari"



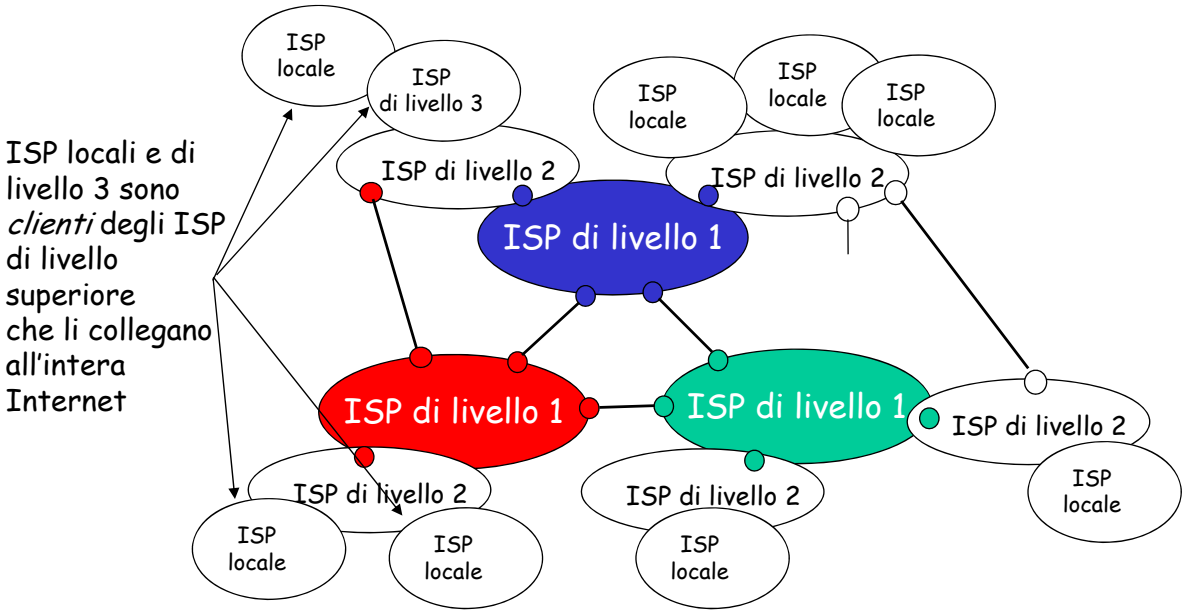
Struttura di Internet

- ISP di livello 2: ISP più piccoli (nazionali o distrettuali)
  - Si può connettere solo ad alcuni ISP di livello 1, e talora ad altri ISP di livello 2



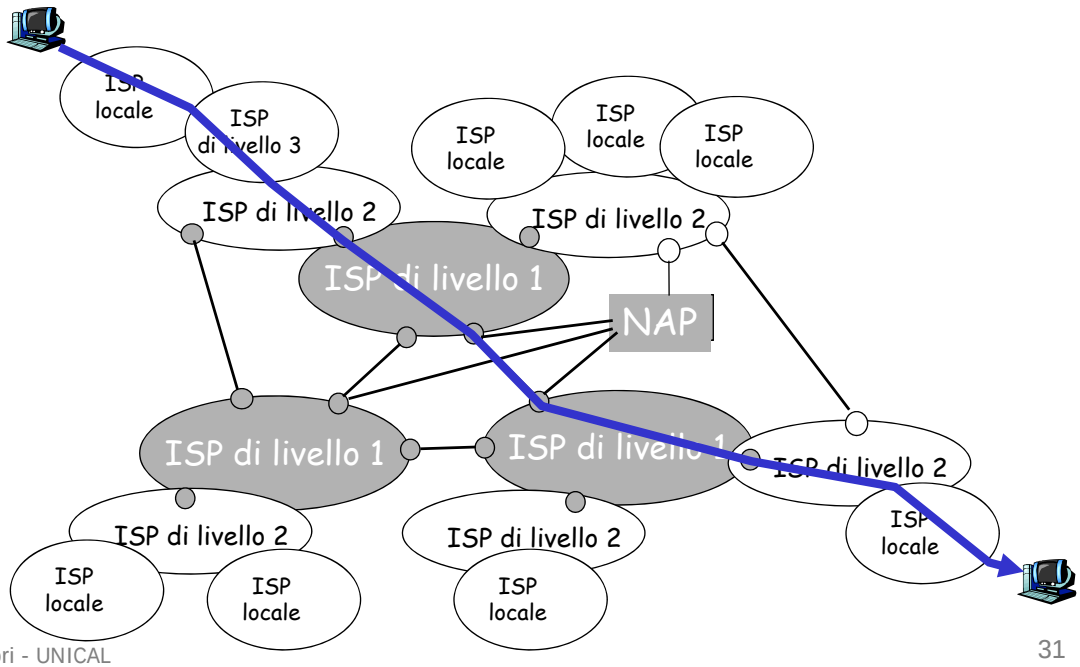
Struttura di Internet

- ISP di livello 3 e ISP locali (ISP di accesso)
  - Reti "ultimo salto" (*last hop network*), le più vicine ai sistemi terminali



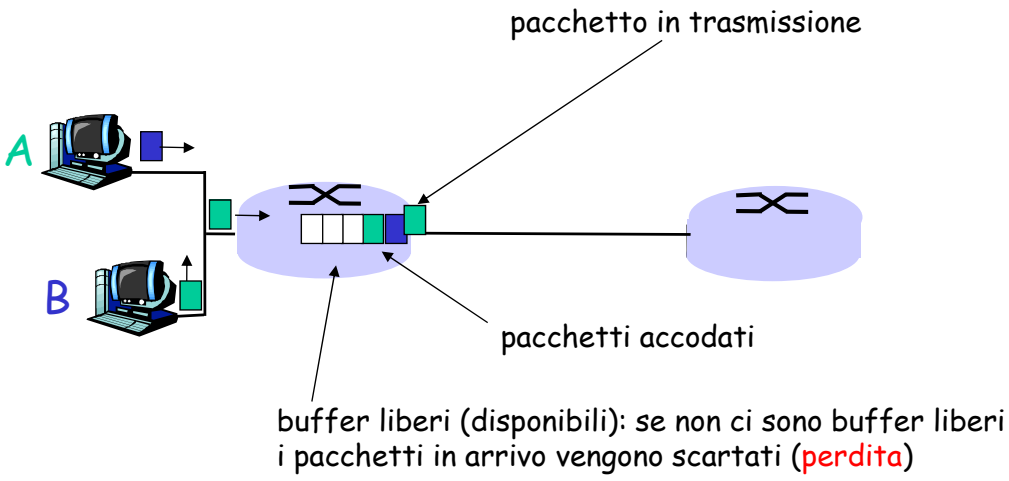
Struttura di Internet

- un pacchetto passa attraverso numerose reti!



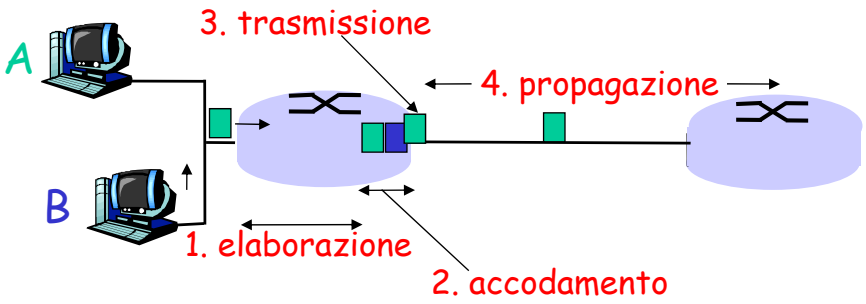
Accodamento dei pacchetti sui router

- i pacchetti si accodano nei buffer di uscita dei router, e attendono il proprio turno per la trasmissione
- se il tasso di arrivo dei pacchetti eccede la capacità di elaborazione, o la capacità del collegamento in uscita, si ha perdita di pacchetti



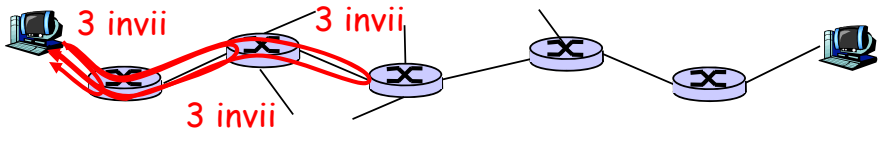
Quattro cause di ritardo per i pacchetti

1. Ritardo di elaborazione del router:
   - *controlli sui dati dei pacchetti*
   - *determinazione del canale di uscita*
2. Ritardo di accodamento
3. Ritardo di trasmissione sul canale di uscita
4. Ritardo di propagazione sul canale



Ritardi e percorsi in Internet

- Come è possibile stimare i ritardi?
- **Traceroute**: programma diagnostico che fornisce una misura del ritardo dalla sorgente ai vari router, nel percorso verso la destinazione.
  - invia tre pacchetti che raggiungeranno ogni router sul percorso verso la destinazione
  - il router restituirà i pacchetti al mittente
  - il mittente calcola l'intervallo tra trasmissione e risposta



Ritardi e percorsi in Internet

traceroute: da gaia.cs.umass.edu a www.eurecom.fr

Tre misure di ritardo da gaia.cs.umass.edu a cs-gw.cs.umass.edu

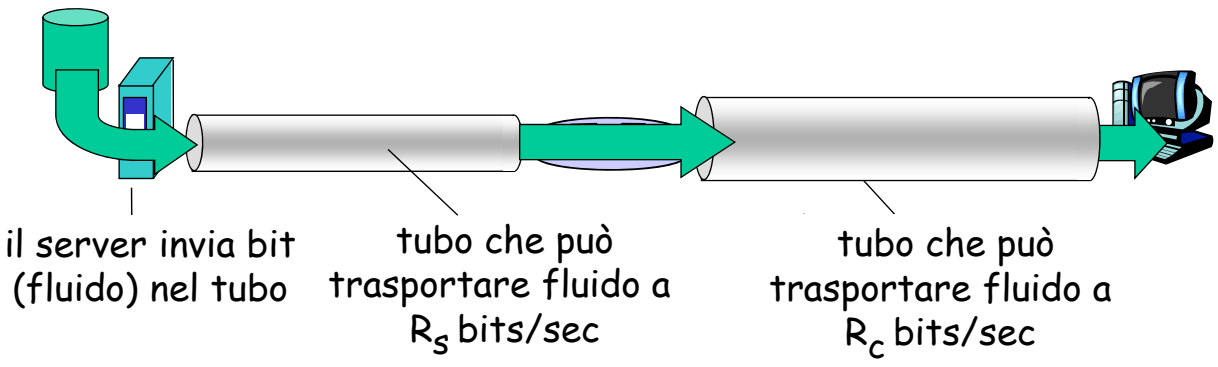
```
1  cs-gw (128.119.240.254)  1 ms  1 ms  2 ms
2  border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145)  1 ms  1 ms  2 ms
3  cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130)  6 ms 5 ms 5 ms
4  jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129)  16 ms 11 ms 13 ms
5  jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136)  21 ms 18 ms 18 ms
6  abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9)  22 ms  18 ms  22 ms
7  nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46)  22 ms  22 ms  22 ms
8  62.40.103.253 (62.40.103.253)  104 ms 109 ms 106 ms
9  de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129)  109 ms 102 ms 104 ms
10  de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50)  113 ms 121 ms 114 ms
11  renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54)  112 ms  114 ms  112 ms
12  nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13)  111 ms  114 ms  116 ms
13  nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102)  123 ms  125 ms  124 ms
14  r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110)  126 ms  126 ms  124 ms
15  eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54)  135 ms  128 ms  133 ms
16  194.214.211.25 (194.214.211.25)  126 ms  128 ms  126 ms
17  * * *
18  * * *
19  fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)  132 ms  128 ms  136 ms
```

collegamento transoceanico

* significa nessuna risposta (risposta persa, il router non risponde)

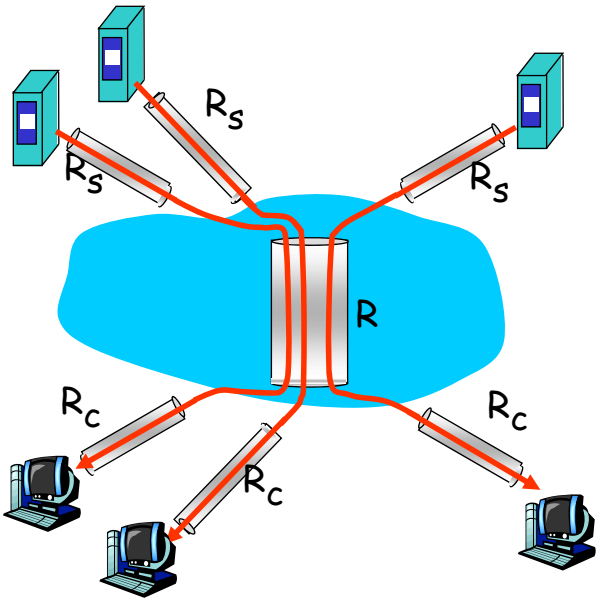
Throughput

- *throughput:* frequenza (bit/unità di tempo) alla quale i bit sono trasferiti tra mittente e ricevente
  - Il troughput "end to end" della connessione è uguale al throughput minimo misurato sui vari collegamenti. Il collegamento in questione è il *collo di bottiglia*.



Throughput: scenario di Internet

- throughput end to end per ciascuna connessione: $\min(R_c,R_s,R/10)$
- in pratica il collo di bottiglia è quasi sempre R_c o R_s



10 connessioni condividono il collegamento con banda R bits/sec

Livelli di protocollo

Le reti sono complesse!

- molti "pezzi":
  - host
  - router
  - svariate tipologie di mezzi trasmissivi
  - applicazioni
  - protocolli
  - hardware, software

Domanda:

Qual è il modo migliore per *organizzare* l'architettura delle reti?

Protocolli ed interfacce

- Per ridurre la complessità e per ragioni di modularità le reti sono organizzate come una serie di strati o livelli. Ogni livello usa i servizi del livello inferiore. Entità remote dello stesso livello possono comunicare tra loro.
- Le convenzioni e le regole usate nelle comunicazioni tra due entità (processi) di uno stesso livello sono dette **protocollo**.
- L'insieme di servizi offerto da un livello alle entità del livello superiore è detto **interfaccia.**

Protocolli ed interfacce

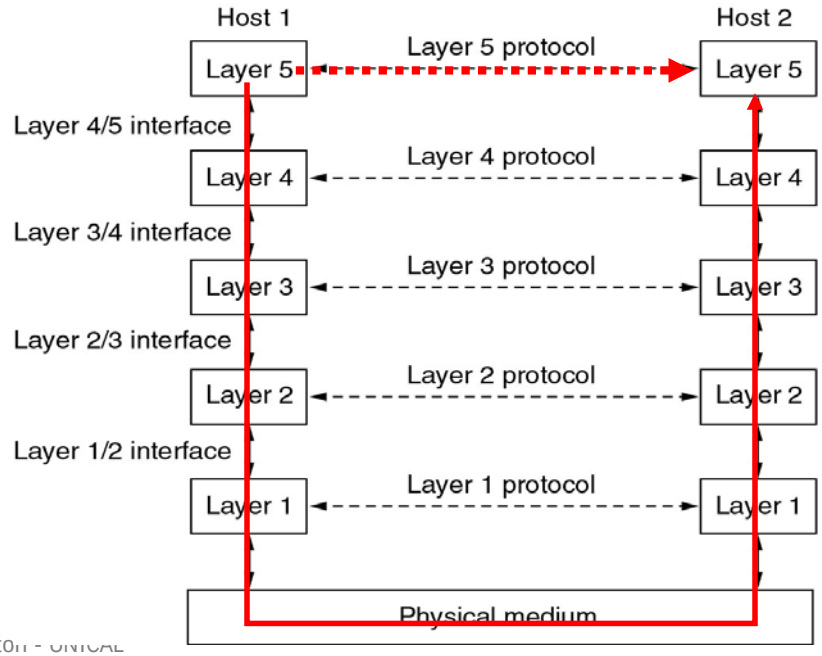
- **Logicamente** il livello ***n*** di una macchina comunica con il livello ***n*** di un'altra macchina.
- In realtà, nessun dato viene trasferito direttamente dal livello ***n*** di una macchina al livello ***n*** di un'altra macchina.
- I dati passano da un livello a quello sottostante fino al livello **fisico** che trasmette i dati sulla rete fino alla macchina ricevente.
- Il passaggio dei dati tra i diversi livelli di una stessa macchina avviene tramite le **interfacce**.

Architetture di rete

- Un insieme di protocolli, uno per livello, è detto **pila di protocolli**.
- Un insieme di livelli, protocolli e interfacce è chiamato **architettura di rete**.
- Le architetture di rete sono alla base di tutte le reti di calcolatori.

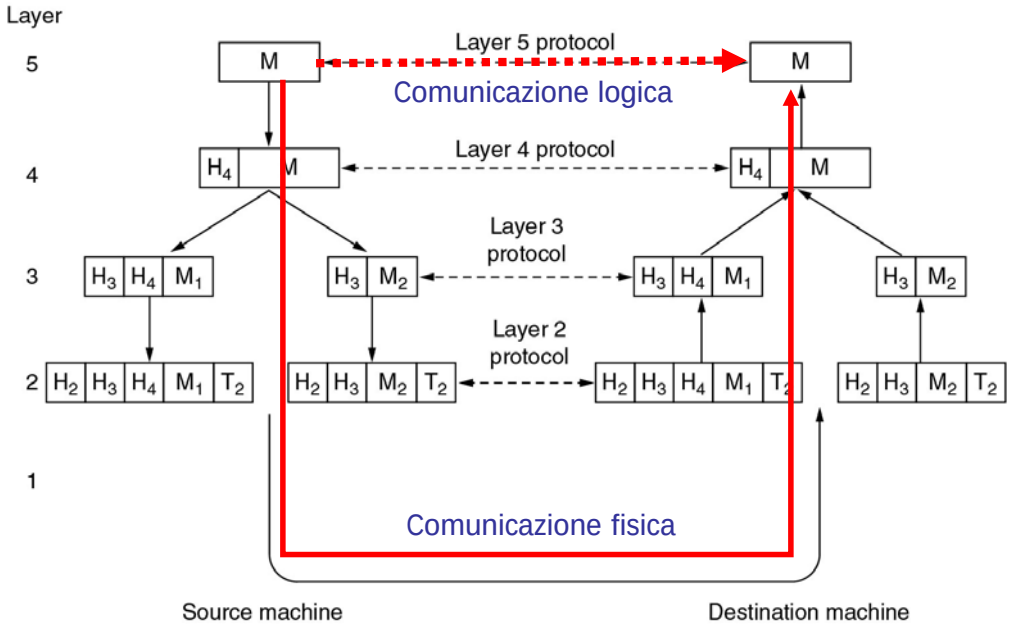
Gerarchie di protocolli: architettura di rete

- Livelli, protocolli e interfacce



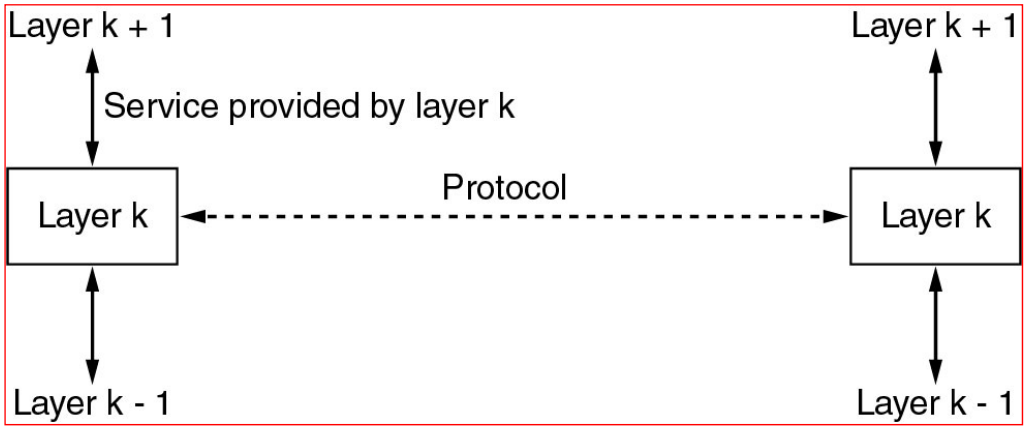
Architetture di rete: esempio

- Comunicazione tra due computer di Internet



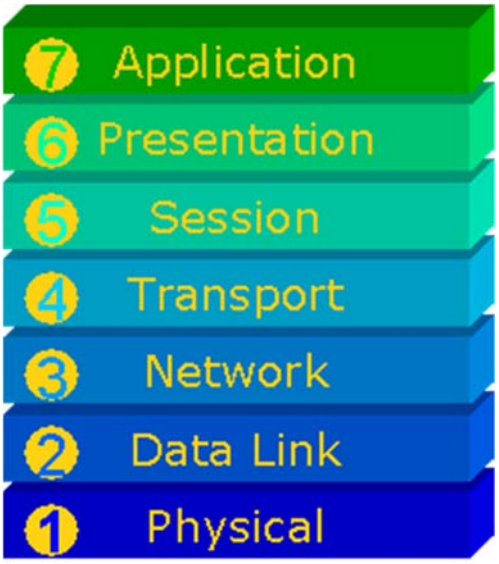
Relazione tra Servizi e Protocolli

- Il servizio implementato dal protocollo di livello k viene fornito al livello k+1.



Modello ISO-OSI

Il modello ISO-OSI è composto da 7 livelli



ISO = *International Standards Organization*

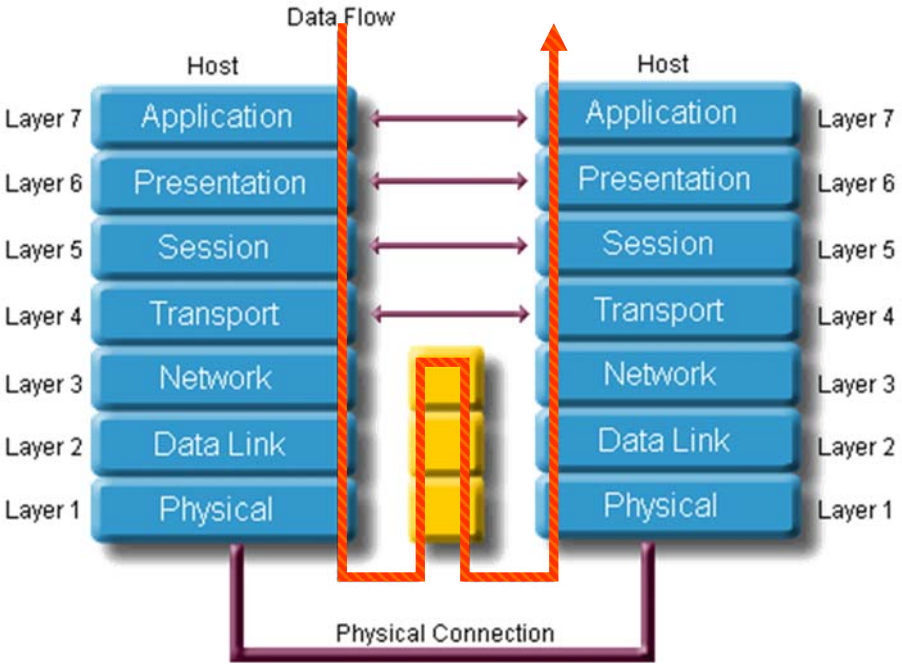
OSI = *Open Systems Interconnection*

Modello ISO-OSI

Principi guida per la progettazione dei vari livelli

- Tramite l'organizzazione a livelli si definisce un grado di astrazione.
- I livelli devono corrispondere a funzioni ben definite e tra loro omogenee.
- I confini tra i livelli devono minimizzare il flusso delle informazioni tra livello e livello.
- Il numero di livelli deve essere ottimale (né troppi né pochi).
- Le funzioni devono considerare l'insieme degli standard internazionali.

Modello ISO-OSI



ISO-OSI: Livello Fisico

Riguarda la trasmissione dei bit sul canale fisico di trasmissione

Coinvolge aspetti di tipo:

- elettrico (linee comunicazione, propagazione onde)
- comunicazione (simplex, half-duplex, full-duplex, ...)
- meccanico (standard dei connettori, ...)

ISO-OSI: Livello Data Link

Le funzionalità del livello Data Link sono:

1. Divide le informazioni in **frame** e li trasmette attraverso il mezzo fisico
2. Per ogni frame inviato, il mittente attende un segnale di avvenuta ricezione (**ack**) e gestisce l'eventuale duplicazione dei frame ricevuti, causata dalla possibile perdita dell'ack.
3. Sincronizza un mittente veloce con un ricevente lento (**controllo di flusso**).
4. Gestisce l'accesso al canale di trasmissione condiviso, ed esempio nelle reti locali (sottolivello **MAC** = *Medium Access Control*).

ISO-OSI: Livello Network

Le funzionalità del livello Rete sono:

1. Definisce un sistema uniforme di **indirizzamento**.
2. Controlla il cammino ed il flusso di pacchetti (algoritmi di **routing**).
3. Gestisce e controlla la **congestione** della rete.
4. Gestisce **l'accounting** dei pacchetti sulle reti a pagamento.
5. Implementa l'interfaccia necessaria alla comunicazione tra reti di tipo diverso (**internetworking**).
6. Gestisce la diffusione di messaggi a più destinazioni (**multicast**).

ISO-OSI: Livello Transport

Il livello di trasporto è il primo livello “end-to-end”: è gestito solo dagli host, non dai router.

Il livello di trasporto deve eventualmente sopperire alla mancanza di affidabilità del livello di rete (pacchetti persi, duplicati, invertiti ecc.)

Funzionalità principali:

1. Servizio orientato alla connessione: accetta dati dal livello superiore, li spezza in segmenti e li trasmette al destinatario, assicurando per lo meno l’ordine corretto di ricomposizione, e se possibile un servizio privo di errori, ed il controllo di flusso.
2. Servizio senza connessione: fornisce il recapito dei messaggi senza garanzie.

ISO-OSI: Livello Session

Le funzionalità di questo livello sono:

1. Controlla il dialogo tra due macchine: non sempre la comunicazione è full-duplex; se non lo è questo livello tiene traccia di chi è il turno attuale.
2. Gestisce il controllo del token nel dialogo tra più entità.
3. Gestisce la sincronizzazione nel trasferimento dei dati (es. checkpoint).

ISO-OSI: Livello Presentation

Le funzionalità di questo livello si limitano alla

- traduzione dei dati che viaggiano sulla rete in un formato astratto.

Queste informazioni vengono poi riconvertite nel formato proprietario della macchina destinataria.

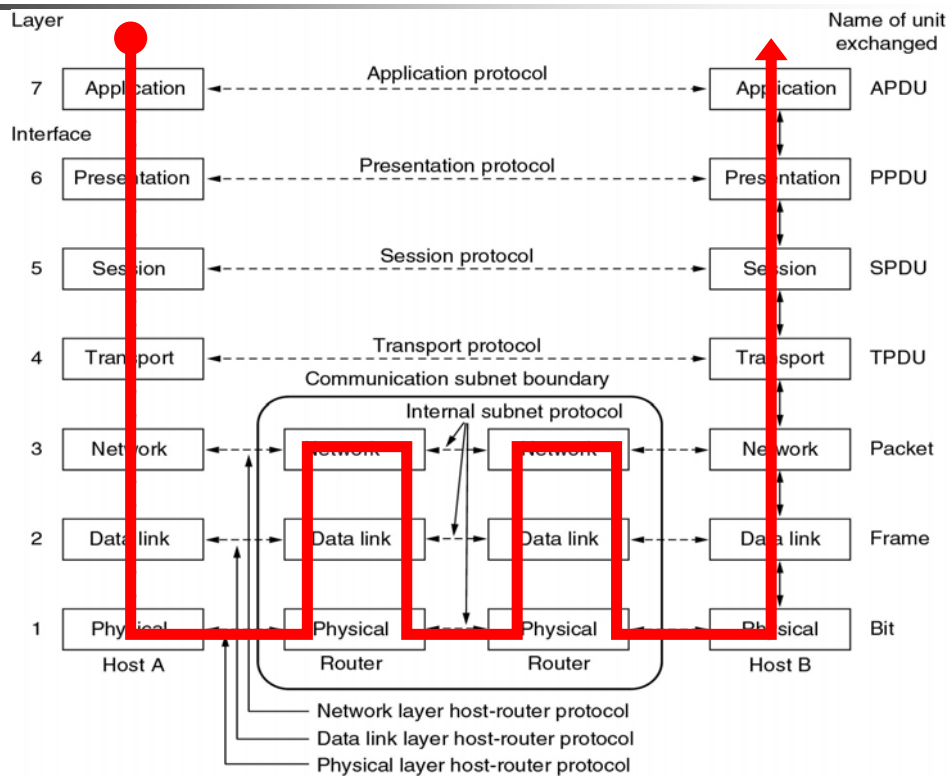
ISO-OSI: Livello Application

Lo strato applicazione comprende una varietà di protocolli utilizzati dagli utenti o dalle applicazioni.

Esempi di applicazioni sono:

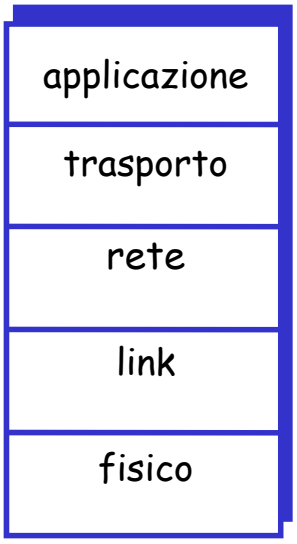
- DNS
- File Transfer (protocollo FTP)
- Posta elettronica (protocolli SMTP, POP, IMAP)
- World Wide Web (protocollo HTTP)
- Applicazioni Multimediali (protocollo RTP)
- ...

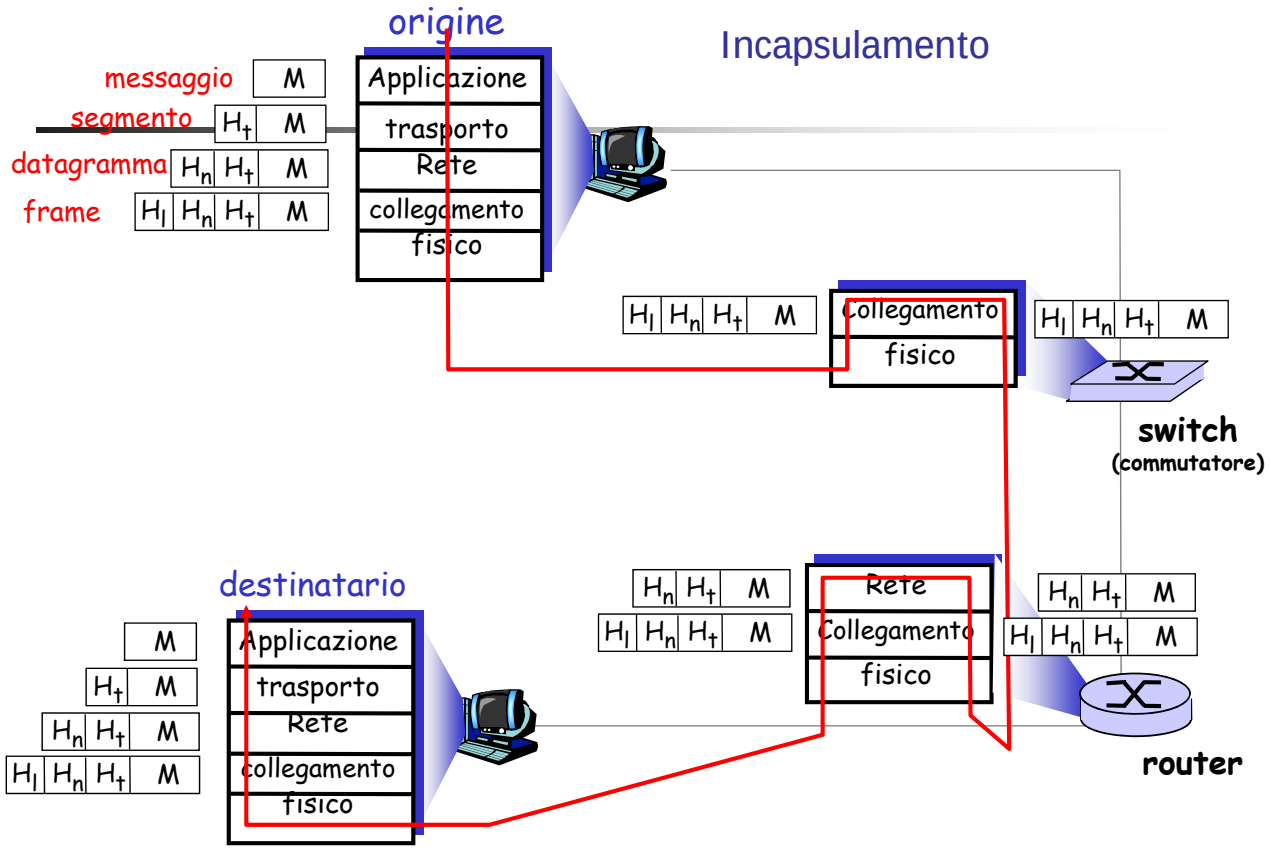
Comunicazione nel modello ISO-OSI



TCP/IP: La pila di protocolli di Internet

- applicazione: di supporto alle applicazioni di rete
  - FTP, SMTP, HTTP
- trasporto: trasferimento dei messaggi a livello di trasporto, con o senza connessione
  - TCP, UDP
- rete: instradamento dei datagrammi dall'origine al destinatario
  - IP, ICMP, protocolli di routing
- data link: instradamento dei datagrammi attaverso un singolo canale, in genere condiviso
  - PPP, Ethernet
- fisico: trasferimento dei singoli bit





Servizi con connessione

- Servizi con connessione (connection oriented)
  - Il servizio è offerto attraverso tre fasi:
    - Apertura della connessione tra due punti della rete
    - Utilizzo della connessione per inviare i dati
    - Chiusura della connessione
  - I dati sono ricevuti nello stesso ordine in cui vengono inviati
  - Due varianti: stream di messaggi e stream di byte

Servizi senza connessione

- Servizi senza connessione (connection-less)
  - Non c'è alcuna connessione
  - I dati sono inviati impacchettati in messaggi, ognuno dei quali contiene l'indirizzo completo del destinatario
  - I messaggi non arrivano necessariamente nell'ordine in cui sono inviati

TCP/IP: protocolli e servizi offerti

Livello di RETE

IP Internet Protocol

• invio di datagrammi senza garanzia di consegna
• indirizzamento
• routing
• controllo della congestione
• trasmissione multicast
• internetworking

Livello di TRASPORTO

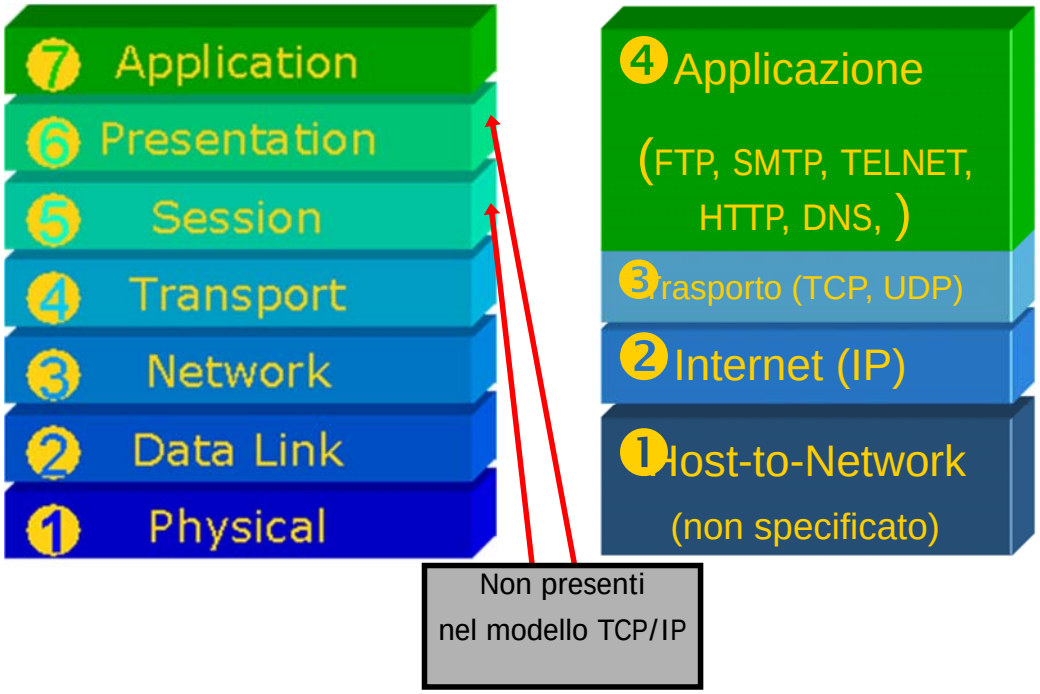
TCP Transmission Control Protocol

• apertura e chiusura della connessione
• flusso di byte bidirezionale lungo un canale virtuale
• ordinamento dei dati
• garanzia della non duplicazione dei dati
• controllo di flusso
• controllo degli errori

UDP User Datagram Protocol

• trasmissione **senza connessione e senza garanzia di ordinamento**
• scambio di **messaggi non affidabile, ma più rapido (es. per servizi real-time)**

Confronto tra ISO-OSI e TCP/IP



Confronto tra ISO-OSI e TCP/IP

- I vantaggi del modello TCP/IP sull'OSI sono fondamentalmente due:
  - Quando nacque OSI, TCP/IP era già presente nel mondo accademico come supporto ad alcune applicazioni molto diffuse (ftp, telnet)
  - I protocolli del modello TCP/IP sono molto più semplici e facili da implementare; inoltre sono open-source!
- Il modello OSI è stato ed è utile per discutere e progettare le reti di computer, ma i protocolli non si sono mai affermati, al contrario di quelli di TCP/IP