

Parte 1: Reti di Elaboratori

Figure e altro materiale sono contenuti nel libro di testo dei Prof. Kurose & Ross: Reti di Calcolatori e Internet, un approccio top-down, 7^a ed. 2017

Queste slide sono state realizzate adattando il materiale (slide/figure) distribuito a corredo di questo testo.

Corso di Reti di Elaboratori

Docenti:

- Prof. Michele Garetto
(michele.garetto@unito.it)
Prima Parte
- Prof. Matteo Sereno (matteo@di.unito.it)
Seconda Parte

Pagina moodle del corso

<http://informatica.i-learn.unito.it/course/view.php?id=1626>

Nota: iscrivetevi sulla pagina di moodle del corso (sarà lo strumento con cui interagiranno con voi)

Orari/aule

- Martedì e mercoledì:
16-18 Aula D
- Giovedì:
11-13 Centro Congressi
- **Proposta:**
cominceremo 5 minuti dopo l'orario formale, faremo un intervallo di soli 5 minuti e finiremo 20 minuti prima della fine formale

Corso di Reti di Elaboratori

Obiettivi del corso

Il corso studia gli elementi fondamentali delle tecnologie di trasmissione del livello data link, dei protocolli di accesso a mezzi condivisi e dei protocolli di trasmissione wireless, la suite di protocolli TCP/IP, e i principi che guidano la strutturazione e la progettazione di applicazioni distribuite.

Competenze attese in ingresso

- Competenza nella programmazione sequenziale C e/o Java (per recepire gli elementi di programmazione concorrente e distribuita presentati nel corso);
- Competenza nelle architetture degli elaboratori e dei sistemi operativi (per apprezzare gli aspetti sistemistici dei sistemi distribuiti oggetto di studio).

Corso di Reti di Elaboratori

Corsi Propedeutici

Programmazione I e II, Architetture, Sistemi Operativi.

Competenze attese in uscita

- Comprensione dei fenomeni e dei protocolli che sono alla base della trasmissione delle informazioni via cavo e via etere;
- Conoscenza approfondita dei protocolli che compongono la suite TCP/IP e delle loro relazioni;
- Principi che guidano la strutturazione e la progettazione di applicazioni distribuite.

Corso di Reti di Elaboratori

Modalità di esame

La verifica dell'apprendimento si articolerà in due prove scritte che potranno richiedere complessivamente tra le tre e le quattro ore. La verifica sarà orientata ad accertare la capacità maturata dallo studente nella comprensione dei fenomeni e dei protocolli di livello data link, di accesso a mezzo condiviso, di trasmissione wireless, nella conoscenza approfondita dei protocolli che compongono la suite TCP/IP e delle loro relazioni, e nella capacità di progettare e realizzare semplici applicazioni distribuite.

Leggere attentamente il documento sul sito del corso, e ne possiamo parlare alle esercitazioni

Programma del corso

- Introduzione ad Internet ed alle reti di calcolatori
- Il livello di collegamento e le reti locali: collegamenti, reti di accesso e reti locali
- Reti Wireless e Mobili
- Il livello di Rete
- Il livello di Trasporto
- Il livello Applicazioni
- Come creare un'applicazione di rete: I socket
- Gestione della rete

Testi consigliati e bibliografia

- Libri di testo:
 - Reti di Calcolatori e Internet - Un approccio top-down, J. Kurose, K. Ross, Pearson Education, Settima Edizione, 2017.
 - Introduzione alla programmazione client-server, D. Maggiorini, Pearson, Addison Wesley
- Libri consigliati:
 - Internetworking con TCP/IP. Vol. 1: Principi, protocolli e architetture, D. Comer, Pearson Prentice Hall
- Materiale presente sulla pagina del corso (vedi sopra)
Importante!

Introduzione

Gli obiettivi di questo primo capitolo

- Introduzione e terminologia
- Gettare le basi per gli argomenti che verranno presentati nel seguito di questo corso
- Approccio seguito:
 - Internet come esempio di rete, e
 - Internet come oggetto di studio
- Anche se si chiama "Introduzione", è oggetto di domande all'esame (e sono difficili)

Sommario:

- Cosa è Internet ?
- Cosa è un protocollo?
- Il network edge, gli host, le reti di accesso, i mezzi fisici di comunicazione
- Il network core: commutazione di pacchetto/commutazione di circuito, la struttura di Internet
- Le prestazioni della rete: perdita di pacchetti, ritardi, throughput
- La sicurezza
- L'organizzazione a livelli dei protocolli, i modelli di servizi
- Una (breve) storia di Internet

Che cosa è Internet

- Internet è il più grande e complesso sistema ingegnerizzato che sia mai stato creato dall'uomo
- *Se non vi piace la complessità, cambiate corso!*
- Come si può descrivere Internet?
 - Descrivere le componenti hardware e software che compongono Internet, oppure
 - Descrivere Internet in termini di infrastrutture di rete che forniscono servizi ad applicazioni distribuite
- Da Internet distilleremo/estenderemo i vari concetti che caratterizzano **tutte** le reti di elaboratori

Internet e le sue componenti di base

Internet è una rete di reti di **calcolatori** che interconnette miliardi di dispositivi di calcolo in tutto il mondo.

Al giorno d'oggi, oltre ai tradizionali calcolatori, connette *computer portatili, tablet, smartphone, TV, console di gioco, webcam, automobili, sensori, cornici digitali, elettrodomestici, sistemi di sicurezza: Internet of Things*

I dispositivi collegati ad Internet sono chiamati **host** o **end-system**

A metà del 2011 il numero di dispositivi connessi ad Internet risultava essere di 850 milioni (circa) con un numero stimato di utenti di 2 miliardi

A Dicembre 2014 gli utenti stimati sono 3 miliardi, ma seguite gli aggiornamenti su *<http://www.internetworldstats.com/stats.htm>* oppure *<http://www.internetlivestats.com/>*

Internet e le sue componenti di base (II)

- Gli **end system (host)** sono connessi tra di loro da una **rete di collegamenti (link)** e di **apparati** chiamati **commutatori di pacchetti o router**
- Collegamenti (link) di vario tipo (o mezzi fisici diversi)
 - Cavi coassiali
 - Fili di rame
 - Fibre ottiche
 - Onde elettromagnetiche
 - Intere sotto-reti che usano una tecnologia diversa da Internet
- Differenti caratteristiche e differenti velocità (transmission rate)
 - Velocità, misurate in bit/secondo (bps)
 - Ritardi, misurati in (centinaia di) millisecondi

Internet e le sue componenti di base (III)



Miliardi di dispositivi connessi:

host = **end system**

Eseguono **network app**

Link di comunicazione

Fibre ottiche, rame, onde radio, satelliti

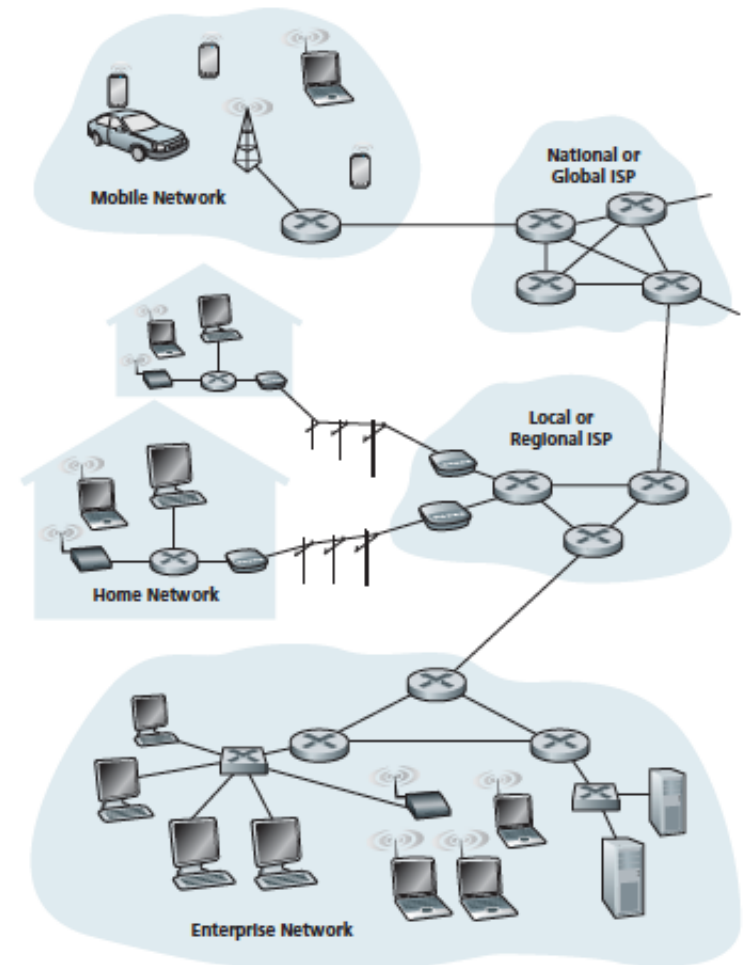
Tasso di trasmissione:

bandwidth (*larghezza di banda*)

Packet switch: inoltra pacchetti (un "tot" di dati)



router



Key:



Internet e le sue componenti di base

(IV)

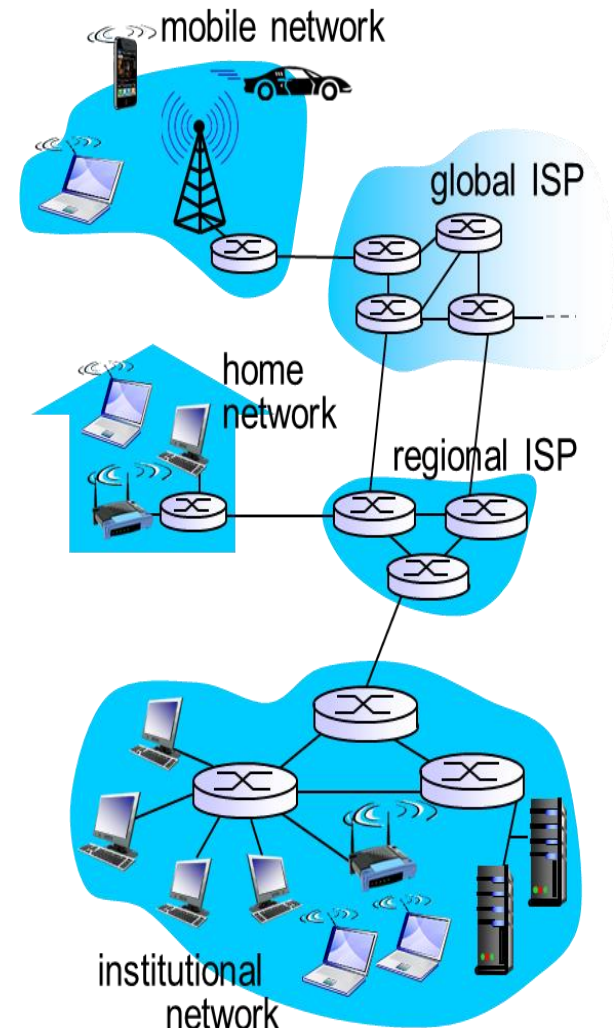
- Quando un sistema periferico vuole inviare dato ad un altro sistema periferico, suddivide i dati in (sotto)parti (aggiungendo ad ognuna **un'intestazione**): **pacchetto**
- Un **commutatore di pacchetto** prende un pacchetto che arriva da uno dei suoi *collegamenti/reti-di-ingresso* e lo ritrasmette su uno dei *collegamenti/reti-in-uscita* inoltrandolo verso il sistema periferico a cui è destinato
- Per questo che Internet è una **rete di reti**!
- **Router** sono commutatori di pacchetto nell'odierna Internet
- **Link-layer switch** sono i commutatori di pacchetto delle sotto-reti (collegamenti) che Internet collega fra di loro

Internet e le sue componenti di base (V)

- Le reti a commutazione di pacchetto sono simili alle reti stradali
 - Metafora delle merci che vengono caricate su camion, e poi ciascun camion viaggia fino a destinazione
- Percorso (*route o path*) → sequenza di collegamenti/reti e di commutatori di pacchetto attraversata dal singolo pacchetto.
- I sistemi periferici accedono a Internet tramite i cosiddetti **Internet service provider (ISP)**
 - ISP residenziali (es. compagnie telefoniche)
 - ISP aziendali
 - ISP universitari
 - ISP che forniscono accesso WiFi in aeroporti

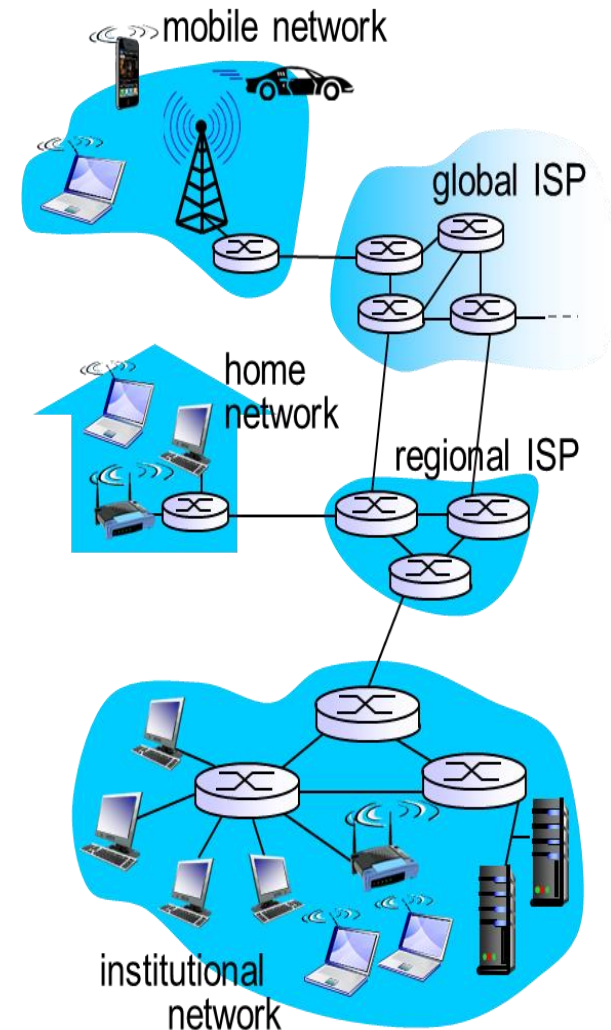
Internet e le sue componenti di base (VI)

- **Internet: "rete di reti"**
 - Interconnessione di reti fisiche diverse → aspetto fisico
 - Interconnessione di ISP → aspetto amministrativo
- **Protocolli:** invio/ricezione messaggi
 - TCP, IP, HTTP, Skype, 802.11
- **Gli standard di Internet**
 - RFC: Request For Comments
 - IETF: Internet Engineering Task Force



- *Infrastruttura che offre servizio alle applicazioni distribuite:*
 - Web, VoIP, email, games, e-commerce, social net, ...
 - Permette ad una applicazione su un host di scambiarsi dati con un'altra applicazione "sorella" su un altro host
- *Fornisce interfacce per la programmazione di applicazioni (API)*
 - API Internet → insieme di regole che il modulo software mittente deve seguire in modo che i dati siano recapitati al modulo software destinazione
 - I due moduli devono essere progettati per **cooperare!!**

Internet: i servizi



Internet: altri servizi



IP picture frame
<http://www.ceiva.com/>



Web-enabled toaster +
weather forecaster



Tweet-a-watt:
monitor energy use



Internet
refrigerator



Slingbox: watch,
control cable TV remotely



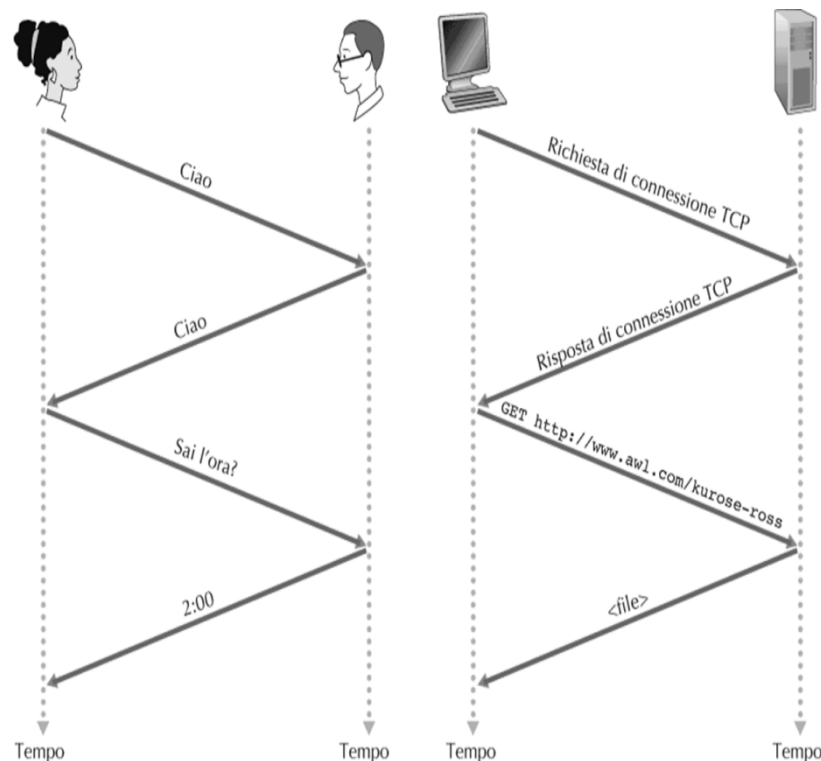
Internet phones

Internet: i protocolli

Un protocollo di rete è simile a un "protocollo umano": un insieme di **regole** che **due o più** umani seguono per **raggiungere un obiettivo comune** che richiede **comunicazione e cooperazione**

Qualsiasi attività in Internet che coinvolge due o più entità remote in comunicazione viene **governata da un protocollo**

Cosa è un protocollo?



Internet: i protocolli (II)

Un protocollo di rete è in primo luogo una **specifica** che contiene:

- Il **formato dei messaggi scambiati** dalle entità di protocollo
- **L'ordine** in cui questi messaggi sono scambiati
- Le azioni che una entità può compiere
 - **Spedire** un messaggio interagendo con il servizio sottostante
 - **Consegnare** un messaggio interagendo con il servizio sovrastante
 - **Caricare** un timer
 - ...

Internet: i protocolli (III)

...

- Gli **eventi** che possono accadere:
 - **Ricezione di un messaggio** notificato dal servizio sottostante
 - **Ricezione della richiesta di spedire** un messaggio interagendo con il servizio sovrastante
 - **Eventi "causati" dall'entità stessa** (es. scadenza di un timer)
- **Quali azioni** compiere quando si verificano **quali eventi**
- Cosa me ne faccio di tale specifica? ./.

Internet: i protocolli (IV)

...

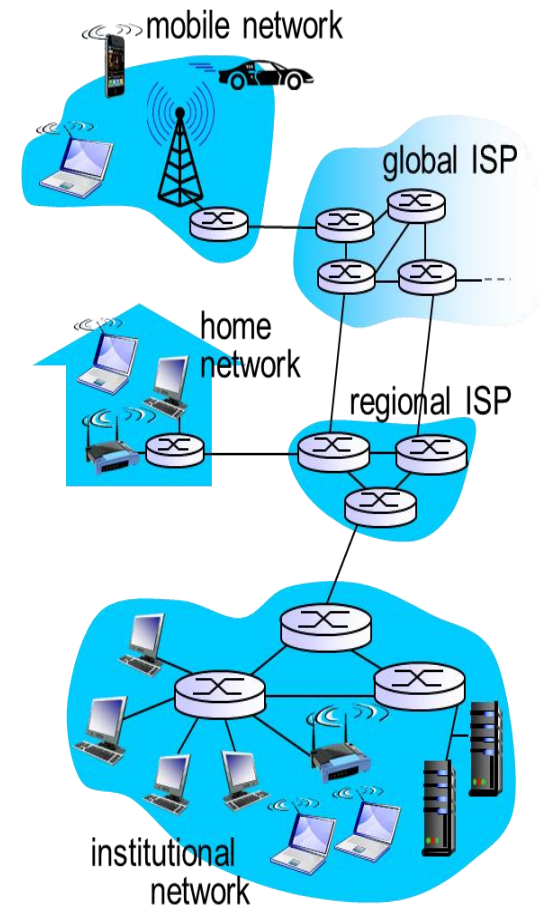
- Naturalmente la specifica viene poi implementata in un software che viene anche chiamato **entità di protocollo**
- Su ogni macchina su cui è implementato un protocollo esiste una entità di tale protocollo, che comunica/coopera con entità paritarie che eseguono su altre macchine ed implementano lo stesso protocollo
- Questa è la complessità delle reti e dei sistemi distribuiti!

Sommario

- Cosa è Internet ?
- Cosa è un protocollo?
- **Il network edge, gli host, le reti di accesso, i mezzi fisici di comunicazione**
- La network core: commutazione di pacchetto/commutazione di circuito, la struttura di Internet
- Le prestazioni della rete: perdita di pacchetti, ritardi, throughput
- L'organizzazione a livelli dei protocolli, i modelli di servizi
- La sicurezza
- Una (breve) storia di Internet

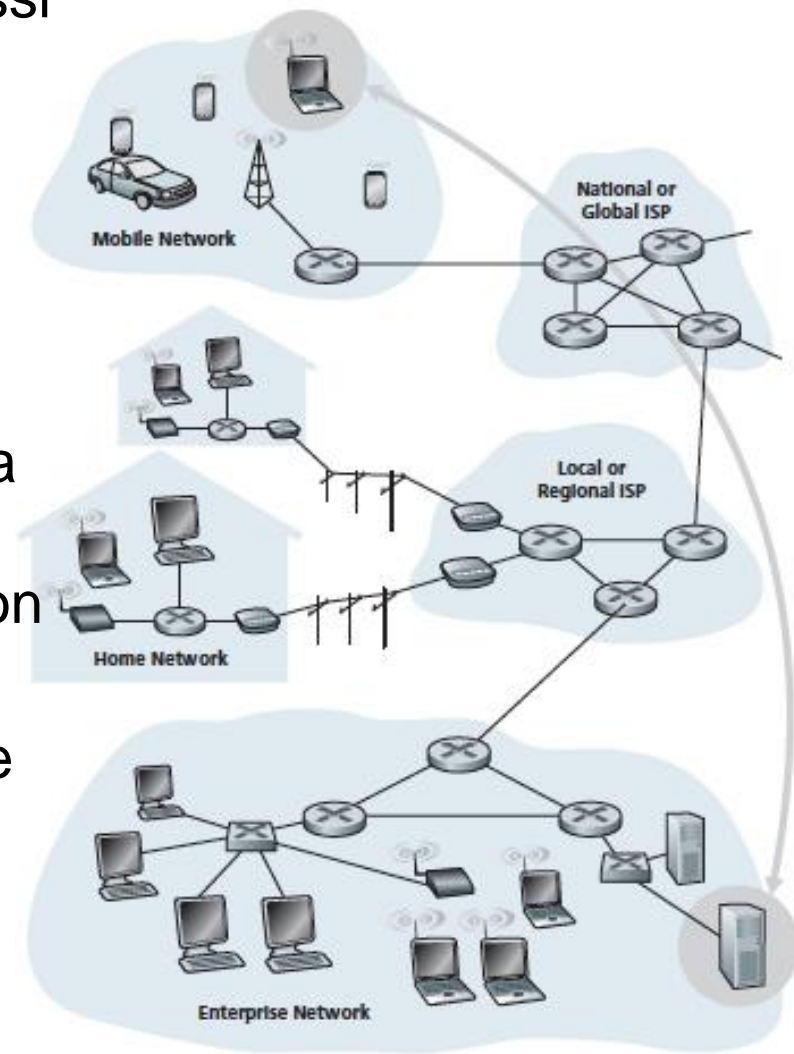
Internet: e le tre componenti

- *Network edge (confine, bordo):*
 - **end-system:** clients, e server spesso organizzati in grandi data center
- *Reti di accesso, mezzi fisici:*
 - cavi, fibre ottiche, wireless, link di comunicazione
- *Network core (nucleo):*
 - router interconnessi da collegamenti/sotto-reti
 - **rete di reti**



Internet: ai confini della rete

- I calcolatori e gli altri dispositivi connessi a Internet vengono chiamati **sistemi periferici** o **end system**, in quanto si trovano ai confini di Internet
- Sistemi periferici → detti **host**.
- Gli host distinti in → **client** e **server**.
- La maggior parte dei server è collocata in grandi data center (per esempio, Google ha 30-50 data center, alcuni con più di centomila server)
- La rete Internet permette la interazione fra qualunque coppia di end system, tipicamente host e server



Internet: le reti di accesso

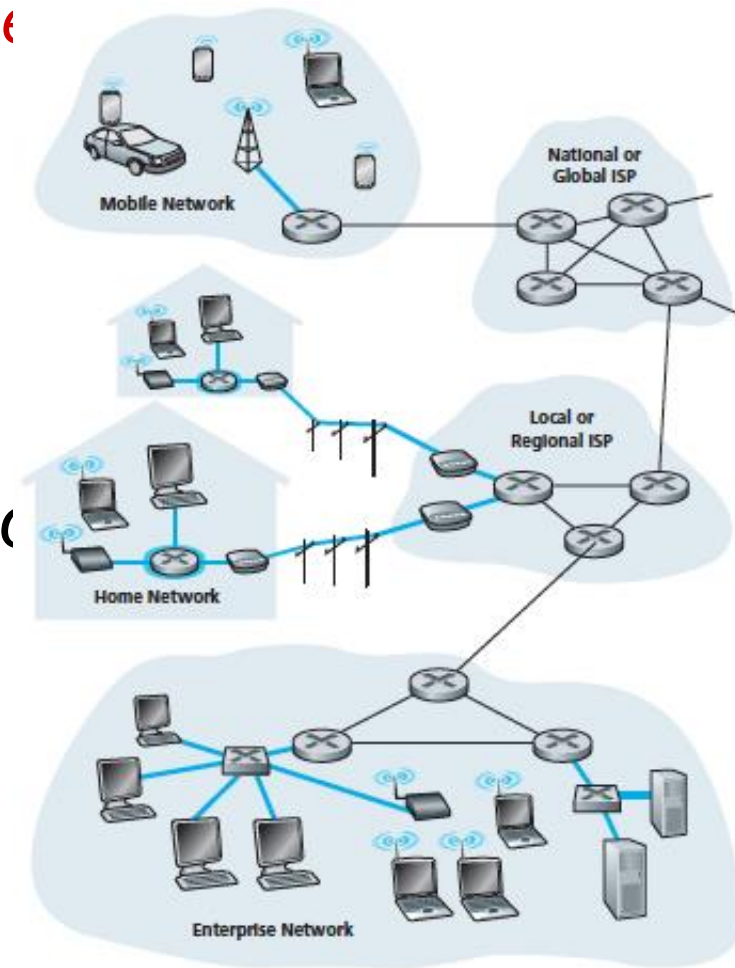
D: In che modo avviene la connessione degli end system all'edge router ?

R: Mediante una **rete di accesso**, una rete che connette fisicamente (**in blu nella figura**) un sistema al suo edge router (router di confine)

Vi sono molti tipi di reti di accesso

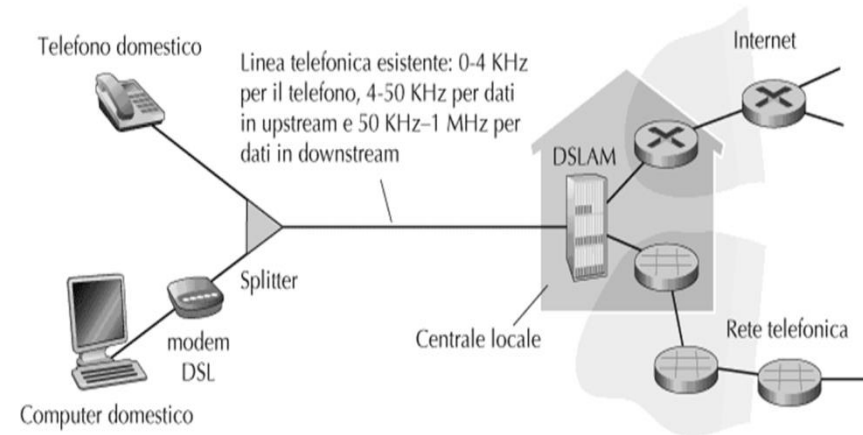
- residenziali
- istituzionali (scuola, azienda)
- reti di accesso mobile

Vediamole ...



Internet: reti di accesso residenziali DSL (Digital Subscriber Line)

- DSL: accesso fornito dalla compagnia telefonica (è anche ISP)
- Il modem DSL usa la linea telefonica esistente (doppino telefonico) per scambiare dati
- Il modem DSL converte i dati digitali in toni ad alta frequenza per poterli trasmettere alla centrale locale su cavo telefonico
- I segnali analogici vengono riconvertiti in digitale nel DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer)
- Le linee trasportano dati e segnali telefonici codificandoli in tre bande di frequenza non sovrapposte



- Un canale downstream (verso l'abitazione)
- Un canale upstream (verso il DSLAM)
- Un canale telefonico ordinario a due vie

Internet: reti di accesso DSL (II)

Il DSLAM nella centrale telefonica separa i segnali dati da quelli della telefonia

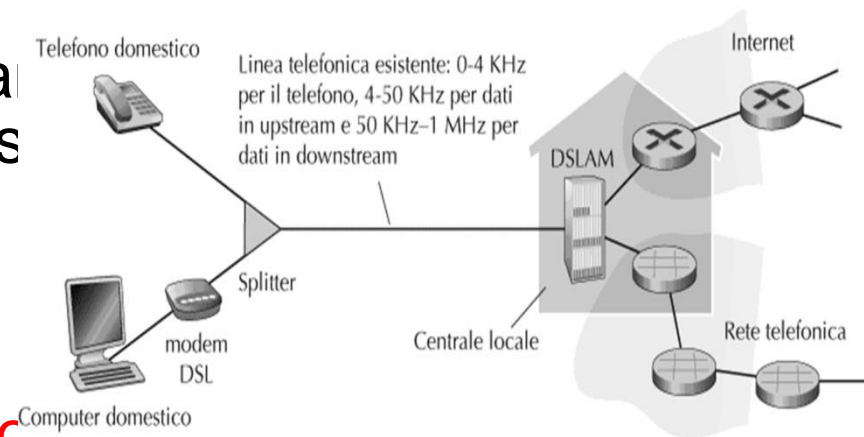
Velocità di trasmissione upstream
2.5 Mbps (tipicamente < 1 Mbps)

Velocità di trasmissione in
downstream < 24 Mbps
(tipicamente < 10 Mbps)

L'accesso viene detto **asimmetrico**
(ADSL) perché le velocità upstream e
downstream sono diverse

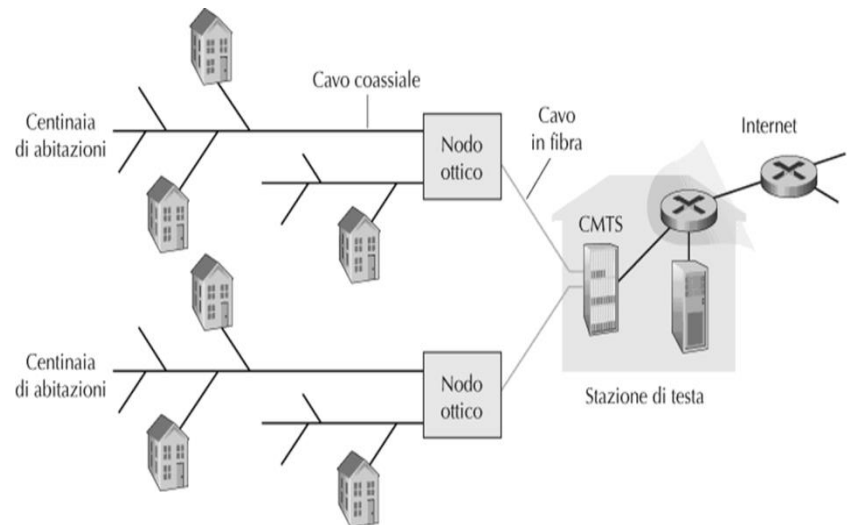
Differenza tra velocità dichiarate e
velocità effettive

Problemi legati alla distanza tra
abitazione/centrale



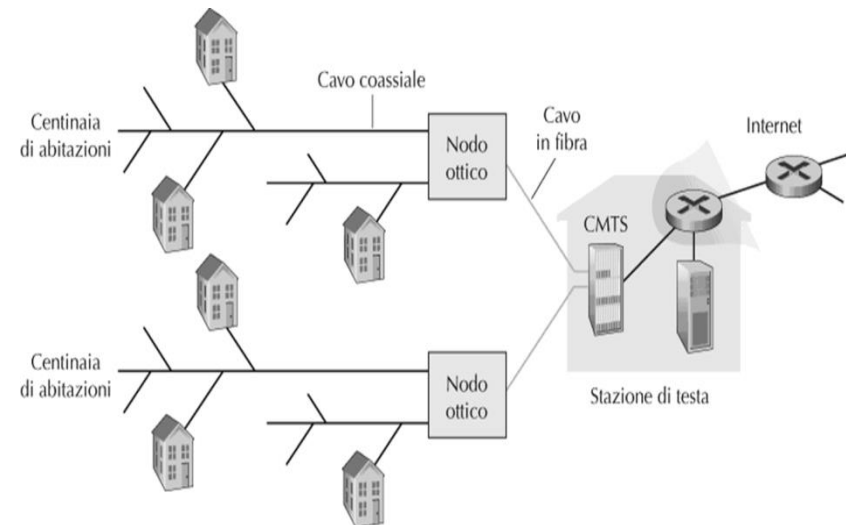
Internet: reti di accesso residenziale via cavo

- L'accesso a Internet via cavo utilizza le infrastrutture esistenti della televisione via cavo (molto diffusa in USA e GB)
- L'accesso a Internet via cavo richiede modem speciali: **cable modem**



Internet: reti di accesso via cavo (II)

- I cavi in fibra ottica connettono unità abitative a livello di quartiere (500-5000 abitazioni)
- Il cable modem è un dispositivo che si connette al PC (es. via porta Ethernet)
- Nella stazione di testa il CMTS (Cable Modem Terminator System) svolge una funzione simile a quella del DSLAM nelle reti DSL
- Accesso asimmetrico (maggiore downstream)
 - Fino a 42.8 Mbps downstream e fino a 30.7 Mbps upstream

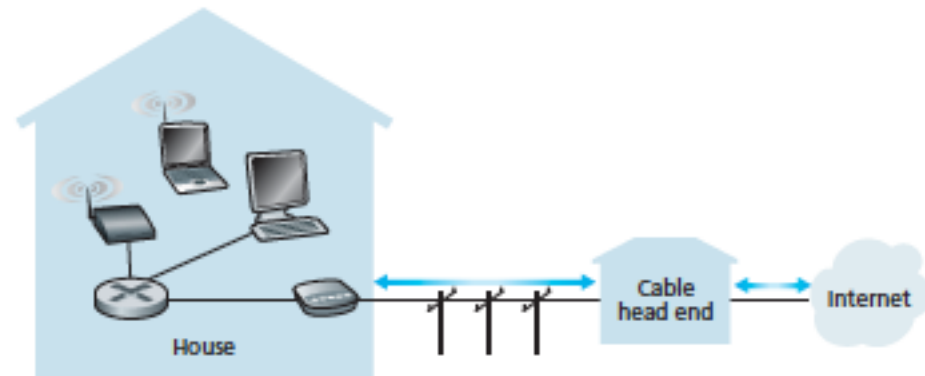
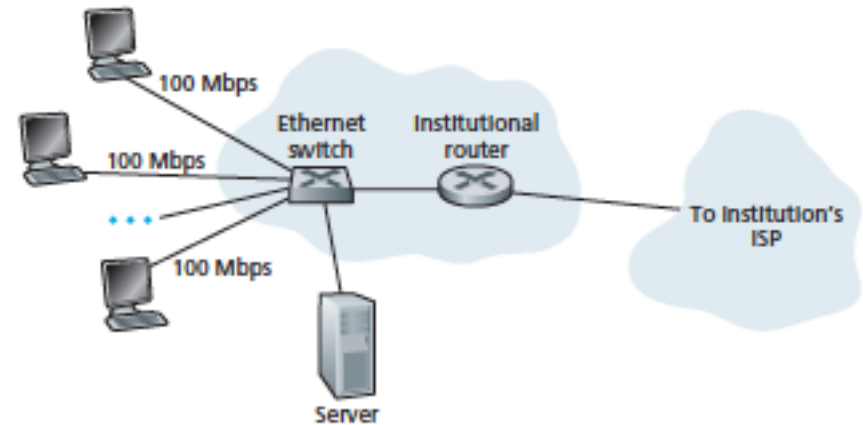


Internet: reti di accesso via cavo (III)

- Sistema viene chiamato **HFC (Hybrid Fiber Coax)**
- Mezzo trasmissivo condiviso:
 - Ciascun pacchetto inviato dalla stazione di testa viaggia sul canale downstream in tutti i collegamenti e verso ogni abitazione
 - Se tutti gli utenti stanno (per esempio) scaricando un film la velocità effettiva sarà significativamente inferiore (rispetto alla massima del canale in downstream)
 - Anche il canale upstream è condiviso
 - Richiede un protocollo di accesso distribuito per coordinare le trasmissioni ed evitare le collisioni (vedremo cosa vuol dire!)

Reti di accesso istituzionali/aziendali

- Aziende, istituzioni (ma ora anche utenze domestiche) hanno numerosi end system
- Serve una **rete locale** per collegare gli end system con l'edge router
- Ethernet
 - 100 Mbps (fino a 1 Gbps o 10 Gbps)
- Accesso WiFi: LAN wireless
- Reti di accesso integrate (router, access point, modem ADSL nello stesso dispositivo): es. DSL e WiFi



Accesso su scala geografica: fibra, 3G e 4G

- Collegamenti punto-punto in fibra ottica per collegare fra loro router remoti
- Le compagnie di telecomunicazioni hanno investito somme enormi nelle cosiddette reti wireless di terza generazione (3G)
 - Consentono accesso ad Internet (commutazione di pacchetto) su scala geografica con velocità che superano 1 Mbps
- Disponibili tecnologie di accesso su scala geografica a velocità ancora più alta e investimenti ancora maggiori: la quarta generazione (4G o LTE)

Mezzi trasmissivi

- Tecnologia via cavo HFC (Hybrid Fiber Coax) → combinazione di fibre ottiche e cavi coassiali
- DSL e Ethernet → fili in rame intrecciati
- Reti di accesso mobili → spettro radio
- I mezzi fisici ricadono in due categorie
 - mezzi vincolati (*guided media, wired*): Le onde elettriche vengono contenute nel mezzo fisico (doppino intrecciato, filo di rame, cavo coassiale)
 - mezzi non vincolati (*unguided media, wireless*): Onde radio che si propagano (e si disperdono) liberamente nell'atmosfera

Mezzi trasmissivi (II)

- Doppino di rame intrecciato
 - UTP (Unshielded Twisted Pair): viene usato per le reti all'interno di un edificio. Velocità tra 10 Mbps e 10 Gbps (dipende dallo spessore del filo e dalla distanza tra trasmettitore/ricevitore)
 - Viene usato anche dalla tecnologia DSL
- Cavo coassiale
 - Costituito da due conduttori di rame concentrici (anziché paralleli)



Mezzi trasmissivi (III)

- Fibra ottica
 - Mezzo sottile di silicio che conduce impulsi di luce
 - Può supportare velocità enormi perché immune alle interferenze elettromagnetiche
 - Molto usato per le cosiddette dorsali Internet. L'alto costo dei trasmettitori/ricevitori/commutatori ottici ne ha limitato l'utilizzo anche per corto raggio
 - Velocità che variano da 51.8 Mbps a 39.8 Gbps (velocità multiple di 51.8 Mbps, OC-1, OC-3, ecc.)

Mezzi trasmissivi: radio (IV)

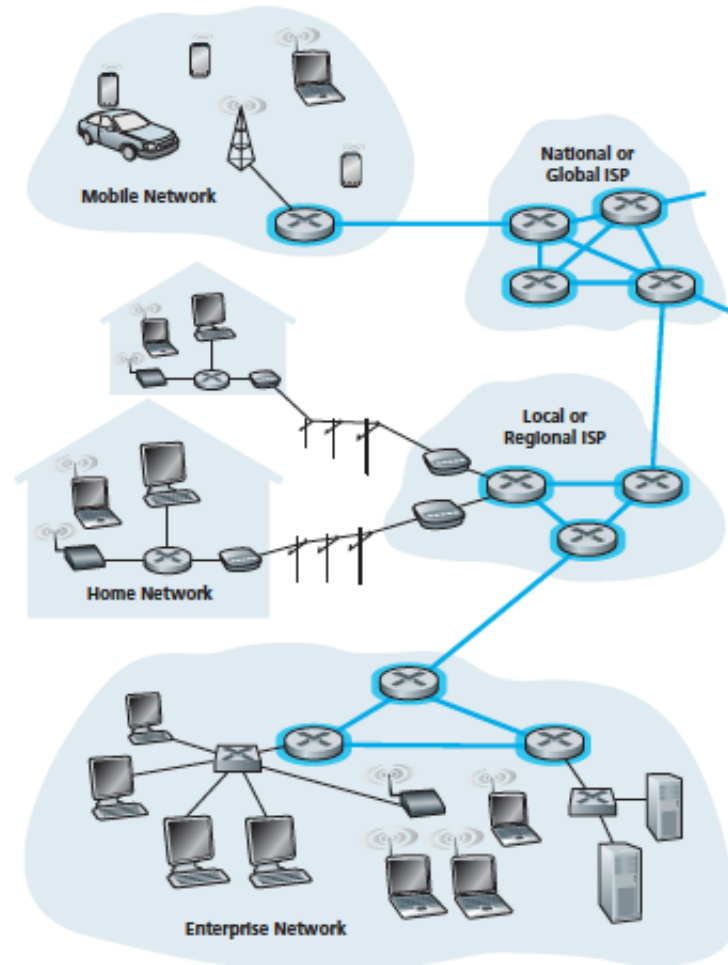
- L'ambiente determina la **perdita di segnale** lungo il percorso a causa della **distanza (path loss)**, dall'attraversamento di **ostacoli (shadow fading)**, dalla **riflessione** di superfici (**multipath fading**)
- Canali radio terrestri
 - Non richiede l'installazione fisica di cavi, in grado di attraversare le pareti, fornisce connettività agli utenti mobili
 - Classificabili a seconda delle distanze su cui operano
- Canali radio satellitari
 - Un satellite collega due o più stazioni a terra (ground station)
 - Satelliti geostazionari, a bassa quota (LEO)

Sommario

- Cosa è Internet ?
- Cosa è un protocollo?
- La network edge, gli host, le reti di accesso, i mezzi fisici di comunicazione
- **La network core: commutazione di pacchetto/commutazione di circuito, la struttura di Internet**
- Le prestazioni della rete: perdita di pacchetti, ritardi, throughput
- L'organizzazione a livelli dei protocolli, i modelli di servizi
- La sicurezza
- Una (breve) storia di Internet

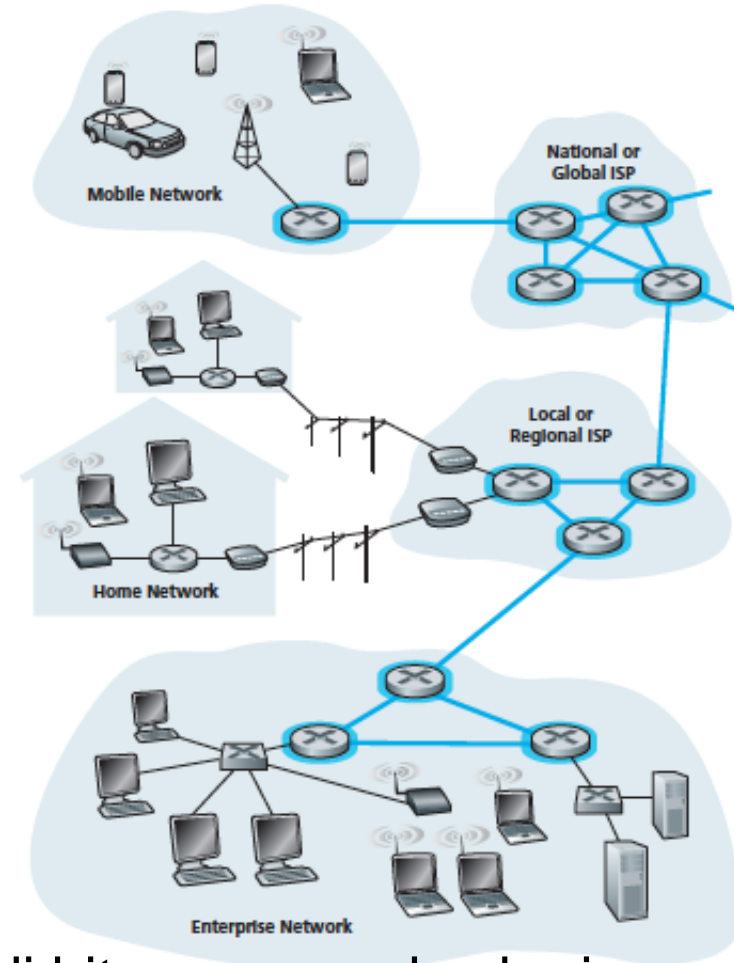
La core network

- Il nucleo della rete: una **maglia** di **commutatori di pacchetti (router)** e collegamenti che interconnettono i sistemi periferici di Internet
- Le applicazioni si scambiano messaggi (informazioni di vario tipo e dimensione)
- La sorgente suddivide i messaggi lunghi in pacchetti
- Tra la sorgente e la destinazione questi pacchetti viaggiano attraverso **collegamenti e commutatori di pacchetto (router)** ...



La core network

- Tra la sorgente e la destinazione questi pacchetti viaggiano attraverso collegamenti e **commutatori di pacchetto** (router)
- I pacchetti vengono trasmessi (sui vari link) alla velocità propria del link
- Se un sistema invia un pacchetto di **L bits** su un canale con **velocità R bps**, il **tempo di trasmissione** risulta pari a **L/R secondi**
- Perché??
Perché la velocità di un link è il numero di bit per secondo che io riesco a trasmettere sul link: se devo trasmettere L bit, e posso trasmettere R bit per secondo
- **Trasmettere == immettere == estrarre !!**



Trasmissione store-and-forward⁽¹⁾

- In linea di principio, tutti i commutatori/router, in qualunque tipo di **rete a commutazione di pacchetto**, usano la tecnica dello **store-and-forward**:
 - Devono ricevere un certo numero di bit per poter decidere dove trasmettere quanto stanno ricevendo
- Nelle reti a commutazione di circuito il numero di bit da ricevere prima di poter prendere la decisione ed agire è **molto piccolo**, e quindi **non si parla di store-and-forward**
- Nelle reti a commutazione di pacchetto, i commutatori devono ricevere l'intero pacchetto prima di poterlo inviare sul link successivo
- Perché? Perché non possono essere sicuri di avere le risorse per trasmettere il pacchetto in arrivo sul link in uscita, e quindi devono bufferizzarlo se necessario. Vedremo meglio più tardi perché
- Vediamo come funzionano...

Trasmissione store-and-forward⁽²⁾

- I commutatori/router a commutazione di pacchetto usano la tecnica **store-and-forward**
 - Il commutatore deve ricevere **l'intero pacchetto prima di** cominciare a trasmettere il **primo bit** sul collegamento in uscita
- I **buffer di output** (detti anche **coda di output**) conservano i pacchetti che il commutatore sta per inviare su quel collegamento
- I **buffer di input** (detti anche **coda di input**) conservano i pacchetti che il commutatore ha ricevuto da quel collegamento
- I pacchetti possono subire **ritardi di accodamento** nei buffer di output e/o di input (vedremo)



Esempio: 2 sistemi collegati da un router e due link a R bps

La sorgente deve inviare 3 pacchetti verso la destinazione (ognuno di L bit)

Nella figura, la sorgente ha trasmesso parte del primo pacchetto (alcuni bit sono arrivati al router)

Il router non può trasmettere i bit che ha ricevuto (store & forward), deve prima memorizzare l'intero pacchetto, e poi lo può ritrasmettere ...

Trasmissione store-and-forward ⁽³⁾

- L = lunghezza in bit del pacchetto
- R = velocità del canale in bps, il

Tempo di trasmissione

- **Tempo** che intercorre tra quando la **sorgente inizia** ad inviare il pacchetto e quando **termina** l'invio del pacchetto

Tempo di propagazione

- **Tempo** che impiegano i bit a **percorrere** la distanza nel link fra sorgente e destinazione (circa alla velocità della luce)

Se trascuriamo la distanza fra sorgente e destinazione, il tempo che intercorre fra quando la sorgente inizia a inviare e quando la destinazione ha ricevuto l'ultimo bit è uguale al tempo di trasmissione →

- La sorgente inizia al tempo 0: all'istante L/R secondi ha trasmesso l'intero pacchetto e quest'ultimo è stato memorizzato dal router
- In tale istante il router inizia a trasmetterlo sul collegamento in uscita
- All'istante $2 L/R$ l'intero pacchetto è stato trasmesso dal router e ricevuto dal destinatario
- Se invece il router **non dovesse attendere la completa ricezione** del pacchetto prima di inoltrarlo sul collegamento in uscita allora il ritardo sarebbe pari a L/R perché i bit ricevuti non verrebbero trattenuti

Trasmissione store-and-forward ⁽⁴⁾

- Quale è l'intervallo di tempo tra quando la sorgente inizia a trasmettere il primo pacchetto e quando il destinatario li ha ricevuti tutti e tre?
 - Al tempo L/R il router inizia ad inoltrare il primo pacchetto (sul collegamento in uscita)
 - Ma sempre al tempo L/R la sorgente inizia ad inviare il secondo pacchetto (perché ha completato l'invio del primo pacchetto)
 - Al tempo $2 L/R$ il destinatario ha ricevuto il primo pacchetto ed il router il secondo
 - Allo stesso modo al tempo $3 L/R$ il destinatario ha ricevuto i primi due pacchetti e il router ha ricevuto il terzo pacchetto
 - Al tempo $4 L/R$ il destinatario ha ricevuto tutti e tre i pacchetti
- Il caso generale della trasmissione di **un** pacchetto dalla sorgente alla destinazione su un percorso di N collegamenti ognuno con velocità di trasmissione R (vi sono $N-1$ router tra sorgente e destinatario):
- Applicando lo stesso ragionamento il ritardo end-to-end è

$$d_{\text{end-to-end}} = N (L/R)$$

P pacchetti su N link

Calcolare il tempo impiegato dalla una trasmissione di

P pacchetti su un percorso di **N collegamenti**

Assumiamo nullo il ritardo di propagazione sui link e i ritardi sui router.

Il primo pacchetto deve essere trasmesso N volte per arrivare a destinazione, quindi impiega $N \cdot (L/R)$ sec

*Appena terminato il primo pacchetto, ci vuole un tempo L/R per ricevere il secondo, **perché mentre il primo viaggiava gli altri venivano spediti da sorgente e router***

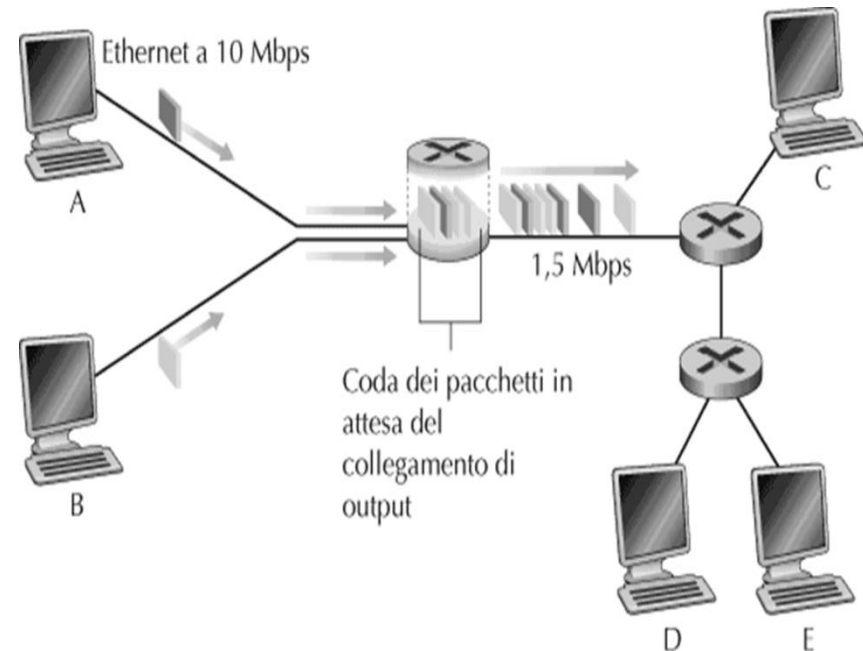
Ne devono arrivare $(P-1)$, quindi dopo l'arrivo del primo, occorre ancora un tempo $(P-1) \cdot (L/R)$

In totale $N \cdot (L/R) + (P-1) \cdot (L/R) = (N+P-1) \cdot (L/R)$

Se P è molto più grande di N, il ritardo nell'arrivo del primo pacchetto è trascurabile

Ritardi di accodamento e packet loss

- Ogni commutatore connette più collegamenti e per ciascuno di essi gestisce un **buffer di output (e uno di input)**
- I pacchetti subiscono **ritardi di accodamento** nei buffer di output
 - Ritardi variabili (dipendono dal traffico della rete)
- Le dimensioni di un buffer sono finite e quando il buffer è completamente pieno di pacchetti si verificherà una **perdita di pacchetti**
 - Verranno scartati i pacchetti in arrivo oppure alcuni di quelli che si trovano già in coda



Ritardi di accodamento e packet loss

(II)

- A e B inviano pacchetti ad E
- Prima sui collegamenti Ethernet a 10 Mbps e poi sul collegamento a 1.5 Mbps
- Se la velocità di arrivo (al commutatore) supera la velocità di inoltro?
 - i pacchetti rimangono in coda nel buffer prima di venire trasmessi sul collegamento
- si può verificare una **congestione**: la memoria del buffer termina!

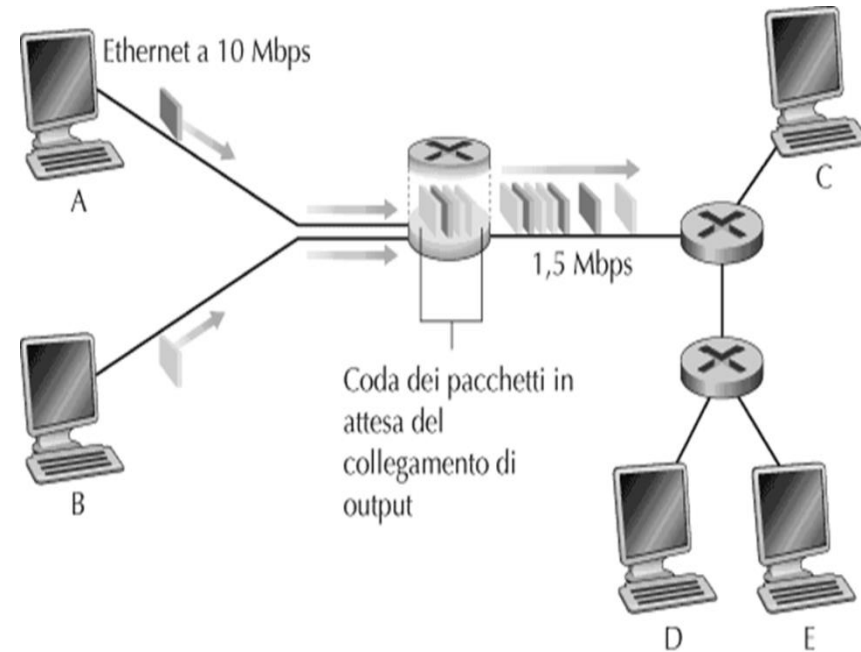


Tabelle di inoltra e protocolli di instradamento

Il router inoltra un pacchetto proveniente da uno dei suoi collegamenti e lo inoltra su un altro collegamento

Come fa il router a determinare su quale collegamento inoltrare il pacchetto ?

In Internet **ogni sistema periferico** ha un indirizzo → **indirizzo IP**

Indirizzi con una struttura "gerarchica" (come gli indirizzi postali): indirizzo **della** (sotto)rete+ indirizzo "locale" **dentro** la (sotto)rete

Ogni pacchetto che percorre la rete contiene l'indirizzo della sua destinazione ((sotto)rete più indirizzo locale)

Quando un pacchetto giunge ad un router questi esamina una parte dell'indirizzo di destinazione e sulla base di questa informazione (la (sotto)rete destinazione) inoltra il pacchetto ad uno dei router adiacenti
Ogni router ha una tabella di inoltra (**forwarding table**)

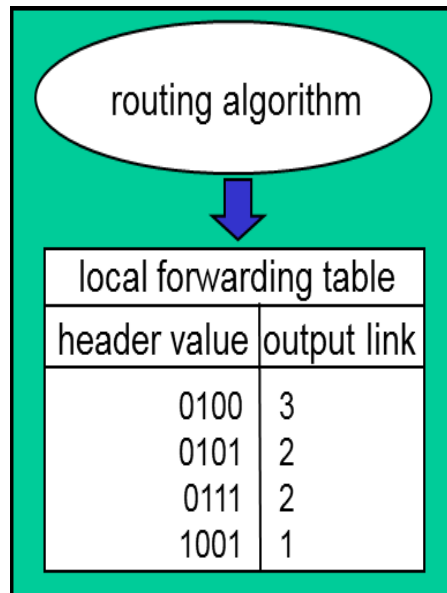
Quando un pacchetto giunge ad un router questo esamina l'indirizzo di destinazione e consulta la propria forwarding table per determinare il router adiacente più appropriato e inoltra il pacchetto verso tale router

Tabelle di inoltro e protocolli di instradamento (II)

Da dove "arriva" la tabella di inoltro?

Da un algoritmo distribuito di routing che viene eseguito sui router della rete Internet

routing: determina il percorso sorgente-destinazione per i pacchetti



forwarding: movimento di pacchetto da una interfaccia di input ad una di output, effettuato sulla base della tabella di inoltro

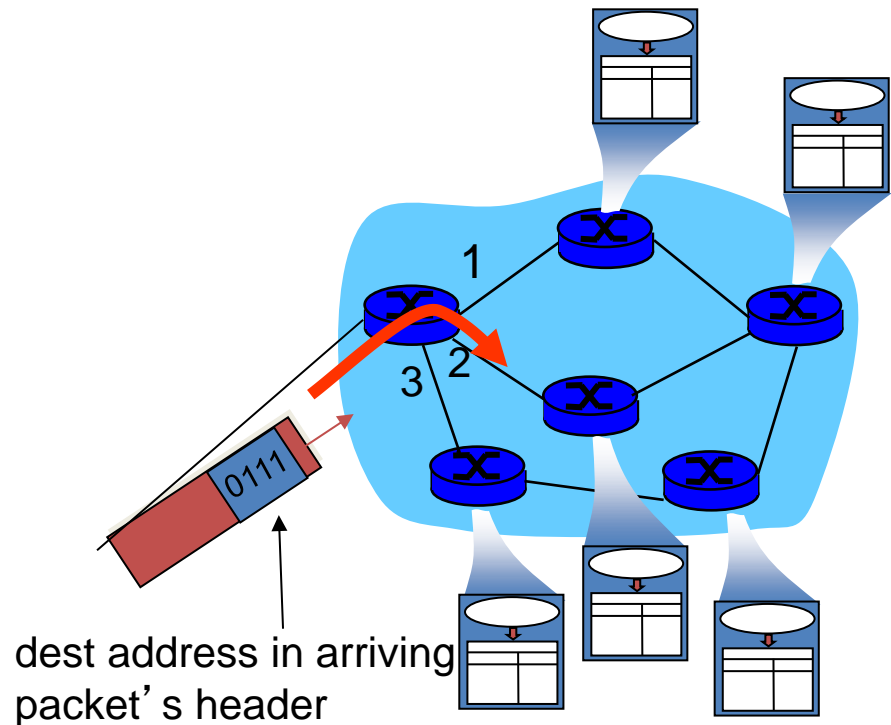


Tabelle di inoltra e protocolli di instradamento (III)

- D: È possibile seguire il percorso che i pacchetti compiono da un punto all'altro di Internet
- R: Sì, in parte, utilizzando il comando **tracert** (**tracert** in Windows)

Commutazione di pacchetto / di circuito

Circuito: quando i commutatori sul percorso tra mittente e destinatario mantengono lo stato della connessione per tutta la durata della comunicazione

Nelle reti a commutazione di circuito **le risorse richieste** lungo il percorso (es. buffer e banda) **sono riservate** per l'intera durata della comunicazione

Es.: ristorante con/senza prenotazione: nel primo caso dobbiamo prenotare ma se accetta la nostra prenotazione non facciamo coda al momento dell'arrivo al ristorante; e troviamo il tavolo a nostra disposizione. Nel secondo caso al momento dell'arrivo al ristorante potremmo dover attendere che si liberi un tavolo

Le risorse prenotate sono **inutilizzate** quando mittente e destinatario **non usano il circuito** (ad es. stanno calcolando i messaggi da scambiarsi ...)

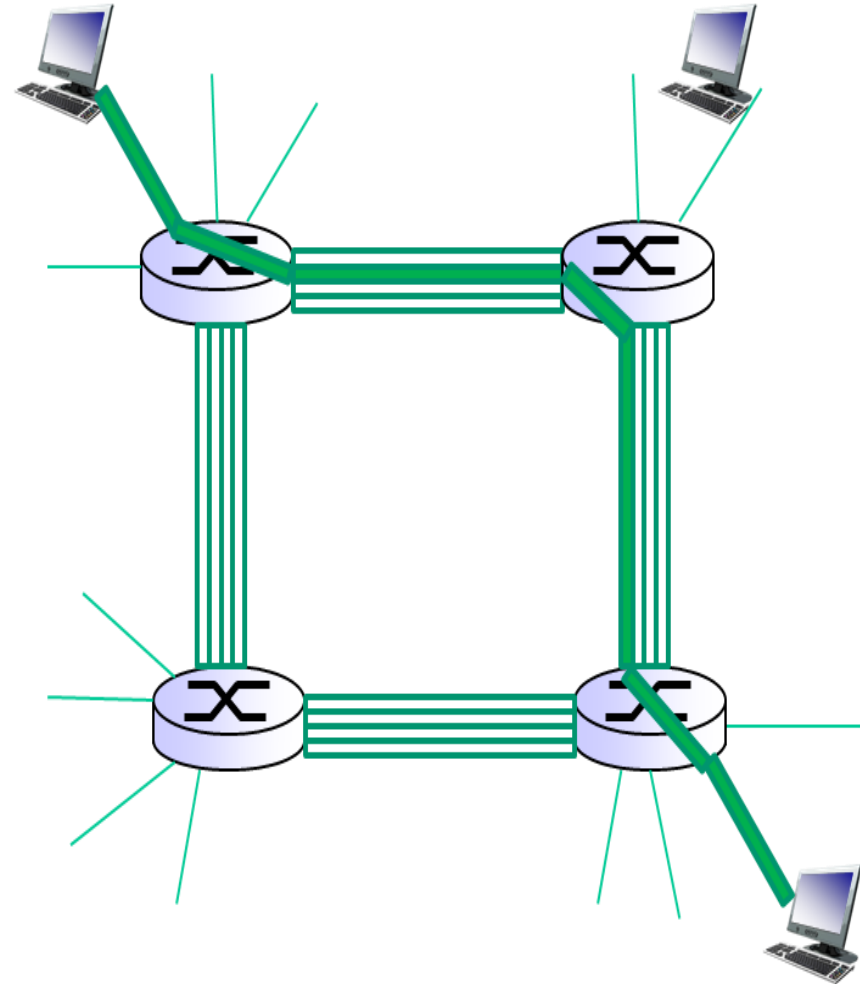
Ma appena il commutatore ha letto i pochi bit che servono per capire quale link di uscita usare, può inviare questi bit e quelli che seguono sul link di uscita perché **è disponibile in quanto prenotato**

Il ritardo introdotto è di soli pochi bit

Commutazione di pacchetto / di circuito (II)

Le reti telefoniche sono reti a commutazione di circuito

- Richiedere la connessione
- Durante la connessione tutti i commutatori mantengono lo stato della connessione o **circuito**
- Quando la rete stabilisce un circuito **riserva** le risorse necessarie per una velocità di trasmissione costante (**garantita**)



Commutazione di circuito vs di pacchetto

Che cosa accade quando un host invia un pacchetto a un altro host su una rete a commutazione di pacchetto, quale è Internet?

Il pacchetto è trasmesso su di una sequenza di collegamenti, ma il pacchetto viene immesso nella rete senza che in precedenza vengano riservate risorse

Se un collegamento di uscita è occupato in una trasmissione, il pacchetto dovrà aspettare in un buffer, e subire un ritardo

Se il buffer di uscita è pieno, il pacchetto potrà essere scartato

Ma le risorse necessarie non sono riservate e quindi se nessuno le usa sono tutte disponibili, anche ad un unico utilizzatore

Multiplexing nelle reti a commutazione di circuito

Un circuito all'interno di un collegamento è implementato tramite
multiplexing a divisione di frequenza (FDM) o multiplexing a divisione di
tempo (TDM)

Multiplexing = condividere/spartirsi frequenza/banda o tempo

Nello schema FDM lo spettro di frequenza di un collegamento viene
spartito tra le connessioni stabilite tramite quel collegamento

Il dominio delle
frequenze viene
ripartito in 4 bande

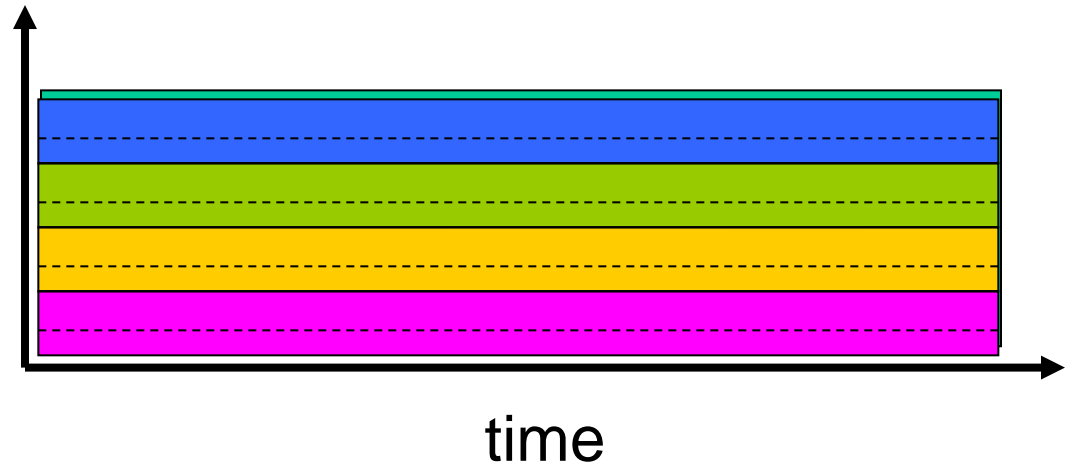
FDM

frequency

Anche le stazioni
radio FM usano lo
schema FDM

Esempio:

4 users



Multiplexing nelle reti a commutazione di circuito (II)

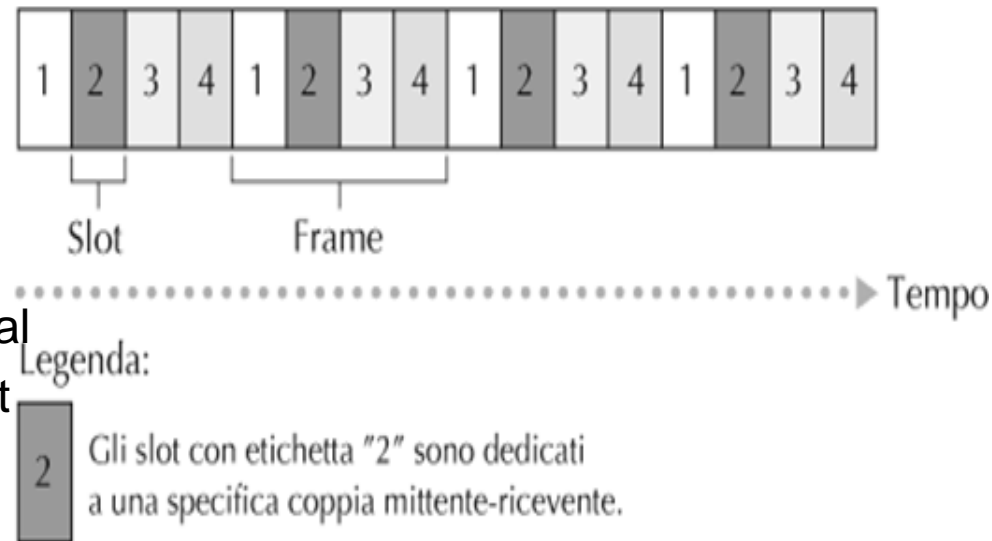
Nello schema TDM il tempo viene spartito in frame (intervalli) di durata fissa a loro volta ripartiti in un numero fisso di slot temporali

Nel caso di TDM il dominio del tempo viene diviso in frame, con 4 slot di tempo per ciascun intervallo

Ad ogni circuito viene assegnato lo stesso slot in tutti i frame

La velocità di trasmissione è uguale alla frequenza di frame moltiplicata per il numero di bit di uno slot

Se il collegamento trasmette 8000 frame al secondo ed ogni slot è costituito da 8 bit allora la velocità di trasmissione del circuito è di 64 kbps



Multiplexing nelle reti a commutazione di circuito (III)

Esempio: Invio di un file di 640.000 bit dall'host A all'host B

Rete a commutazione di circuito con TDM di 24 circuiti, con una capacità trasmissiva complessiva di 1,536 Mbps

500 ms per stabilire la connessione. **Quanto tempo richiede la trasmissione del file?**

Ogni circuito ha una capacità di $1,536 \text{ Mbps} / 24 = 64 \text{ Kbps}$

La trasmissione richiederà $640.000 \text{ bit} / 64 \text{ Kbps} = 10 \text{ s}$

... a cui aggiungere il tempo necessario a stabilire la connessione

NOTARE: il tempo di trasmissione è INDIPENDENTE dal numero di collegamenti.
Perché?

Perché ogni router inoltra un bit appena lo ha ricevuto.

Confronto tra commutazione a pacchetto (CP) e commutazione a circuito (CC)

CP ha ritardi end-to-end variabili, non determinabili a priori e anche molto grandi, CC ha ritardi fissi e molto brevi

- CP non adatta per comunicazioni in tempo reale (telefonia, videconferenza, ecc.)

CP ha migliore condivisione di risorse (non riservate)

- Più semplice da implementare

CP non garantisce qualità di servizio perché non riserva le risorse necessarie per una data qualità di servizio

Efficienza? ./.

Confronto tra commutazione a pacchetto (CP) e commutazione a circuito (CC) ⁽²⁾

CP è più efficiente. Perché? Vediamo in un caso pratico:

- Utenti che condividono un collegamento da 1 Mbps e ciascun utente alterna momenti di attività in cui genera dati a velocità costante (100 kbps) a momenti di inattività
- Ogni utente è attivo solo per il 10% del tempo
- Con la commutazione di circuito è necessario riservare 100 kbps per ciascun utente in ogni istante. In questo caso il collegamento potrebbe supportare simultaneamente 10 utenti (1 Mbps/100 kbps)
- Con la commutazione a pacchetto la probabilità che un determinato utente sia attivo è pari a 0.1. Se sono presenti 35 utenti la probabilità di avere 11 o più utenti attivi contemporaneamente è approssimativamente 0.0004

Confronto tra commutazione a pacchetto (CP) e commutazione a circuito (CC)⁽³⁾

Numero di utenti supportati?

- Quando ci sono 10 o meno utenti attivi contemporaneamente (prob. 0.9996) il tasso di arrivi è ≤ 1 Mbps (il flusso pacchetti attraversa la rete come nel caso di commutazione di circuito)
- Se ci sono più di 10 utenti contemporaneamente attivi la velocità aggregata supera la capacità di output e la coda di output comincerà a crescere (fino a quando la capacità aggregata scende al di sotto di 1 Mbps)
- **La probabilità di avere più di 10 utenti contemporaneamente attivi è piccola**
- **La commutazione a pacchetto fornisce (sostanzialmente) le stesse prestazioni della commutazione a circuito ma consente più del triplo di utenti**

Confronto tra commutazione a pacchetto (CP) e commutazione a circuito (CC)⁽⁴⁾

Altro esempio: **dati a raffica**

10 utenti ed uno di essi genera improvvisamente 1000 pacchetti da 1000 bit mentre gli altri rimangono inattivi senza generare traffico

Con la commutazione a circuito l'utente attivo può utilizzare solamente la sua "quota" mentre le "quote" relative agli altri utenti rimangono inutilizzate

Nel caso della commutazione a pacchetto l'utente attivo può inviare i propri dati alla massima velocità del collegamento dato che nessun altro sta generando dati

Confronto tra commutazione a pacchetto (CP) e commutazione a circuito (CC)⁽⁵⁾

La commutazione a circuito pre-alloca le risorse con collegamenti garantiti (eventualmente non utilizzati o sottoutilizzati)

La commutazione a pacchetto usa i collegamenti su richiesta. Pacchetto per pacchetto la capacità trasmissiva sarà condivisa solamente dagli utenti che devono trasmettere

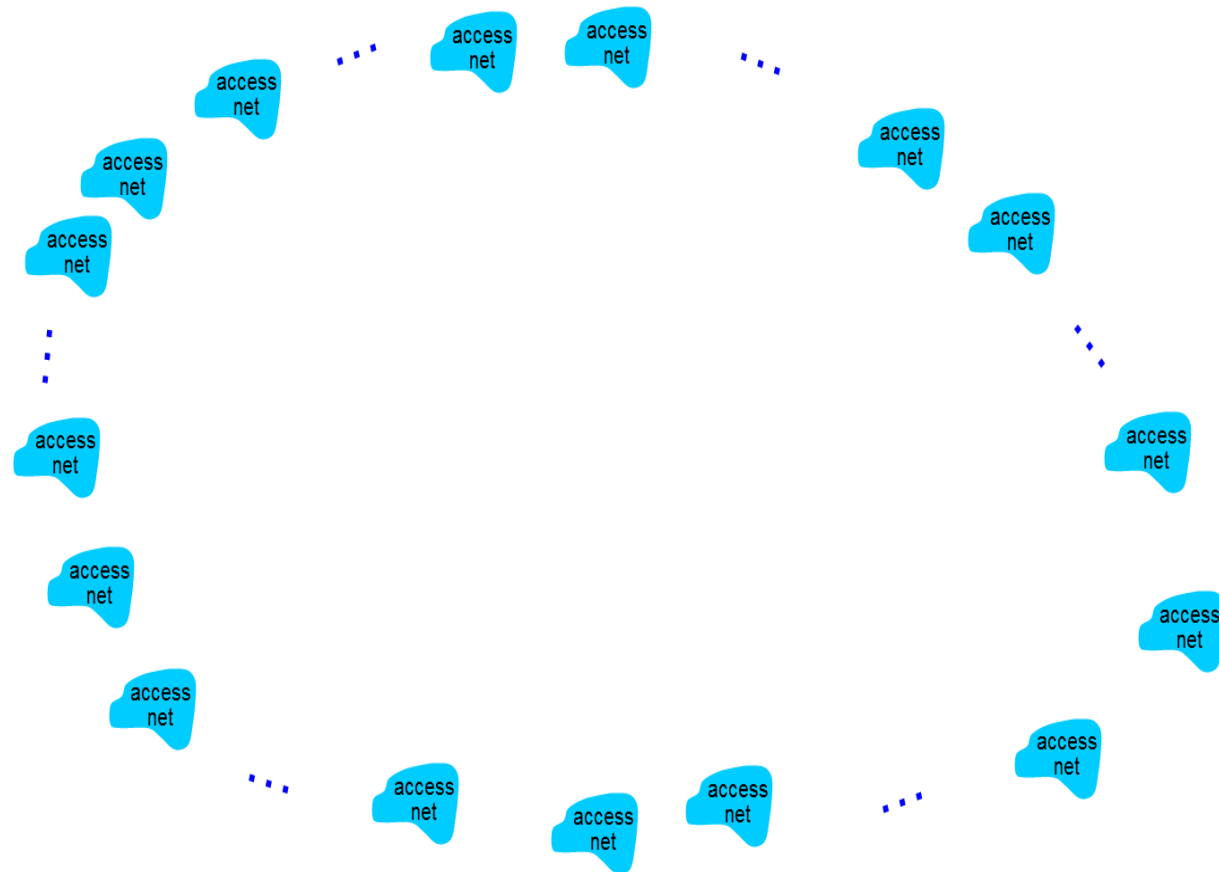
Commutazione a pacchetto è usata anche dalle compagnie telefoniche (per i collegamenti più "costosi")

La struttura di Internet: una rete di reti

- Gli end system si connettono ad Internet attraverso degli ISP che forniscono loro l'accesso alla rete:
 - ISP residenziali, commerciali, istituzionali, ecc.
- Gli ISP devono essere tra di loro interconnessi
- Solamente in questo modo due host qualsiasi possono spedirsi pacchetti
- La rete che risulta da questi collegamenti può risultare molto complessa
- La sua evoluzione è stata dettata da considerazioni economiche, politiche, e sociali

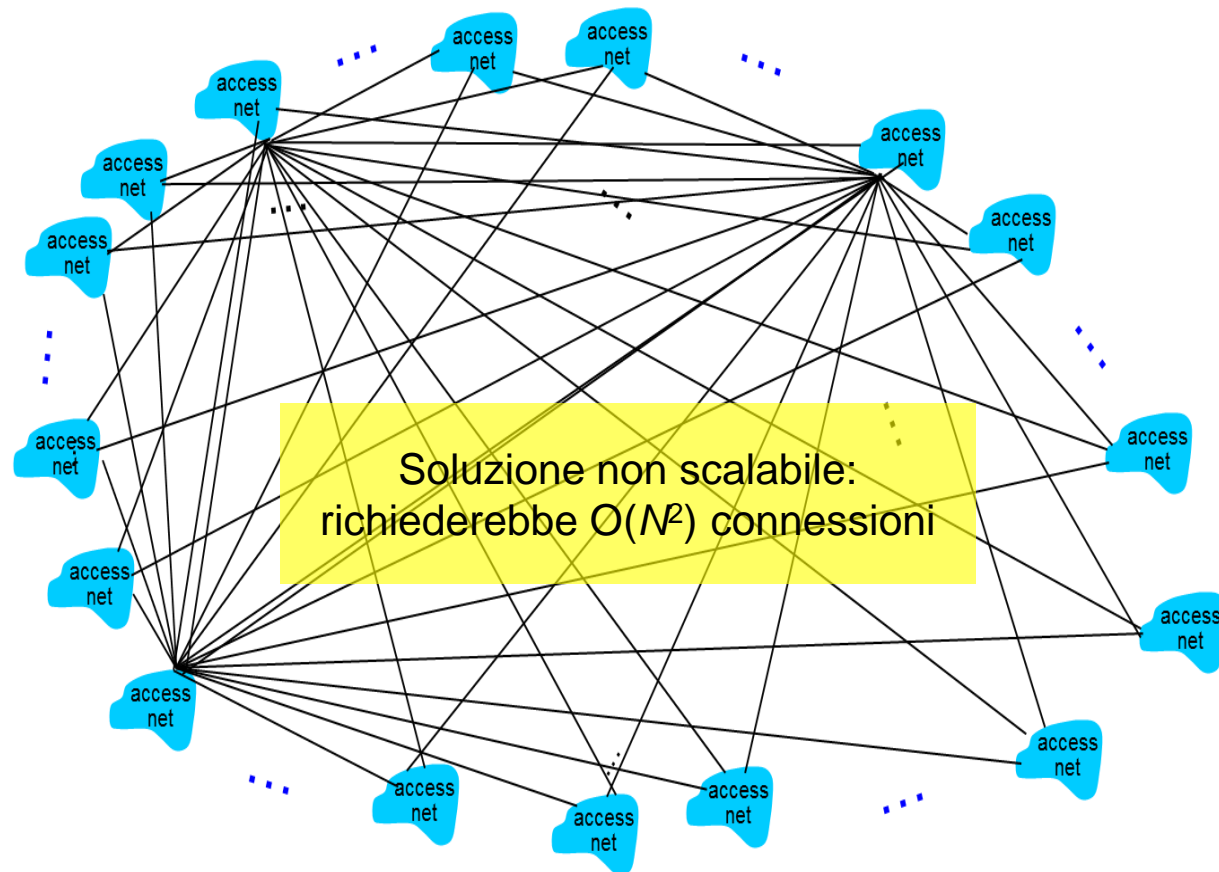
La struttura di Internet: una rete di reti (II)

Q: Dati un numero esorbitante di ISP (milioni), come possono essere interconnessi tra di loro ?



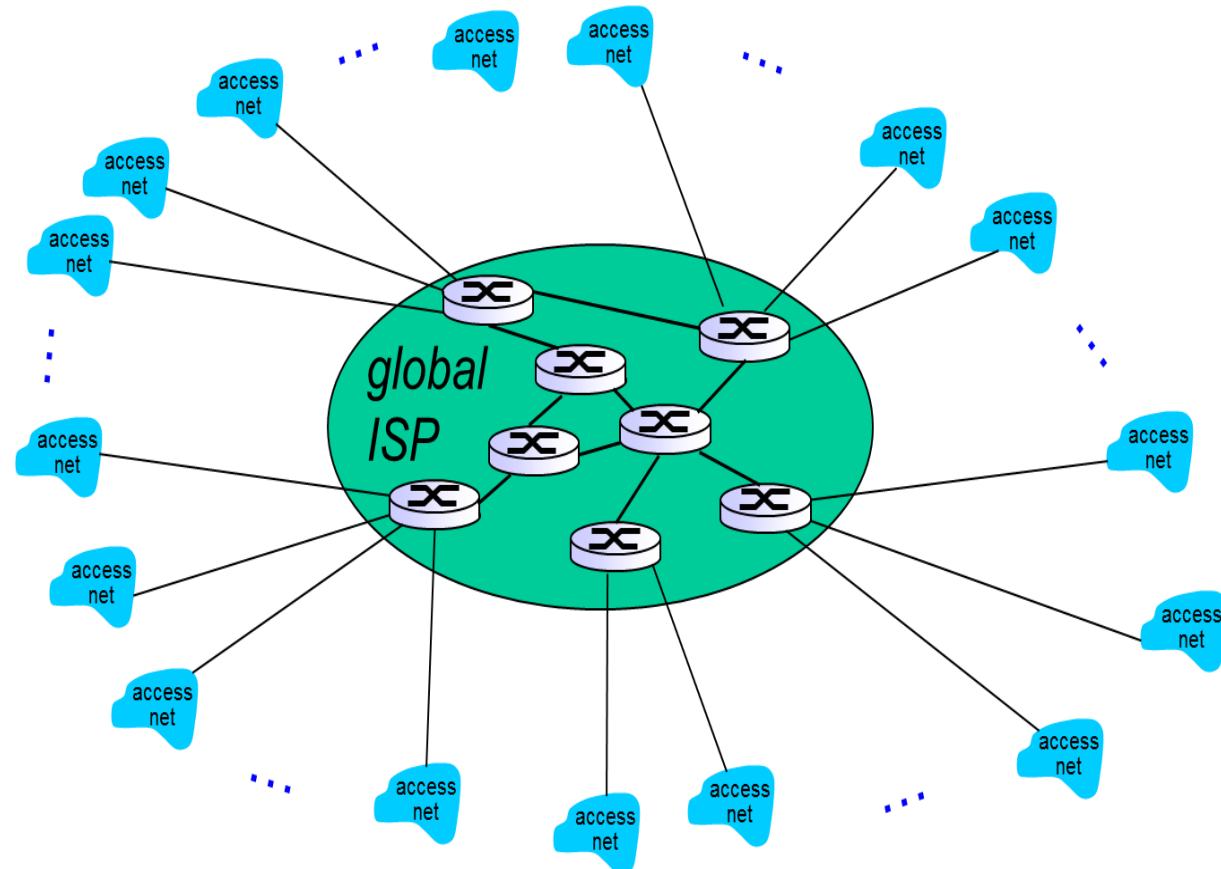
La struttura di Internet: una rete di reti (III)

Possibile opzione: connettere tra di loro ogni coppia di ISP



La struttura di Internet: una rete di reti (IV)

Possibile opzione: connettere ogni ISP di accesso ad un ISP globale che si occupa del transito. I customer (ISP di accesso e l'ISP globale) stabiliscono degli accordi commerciali



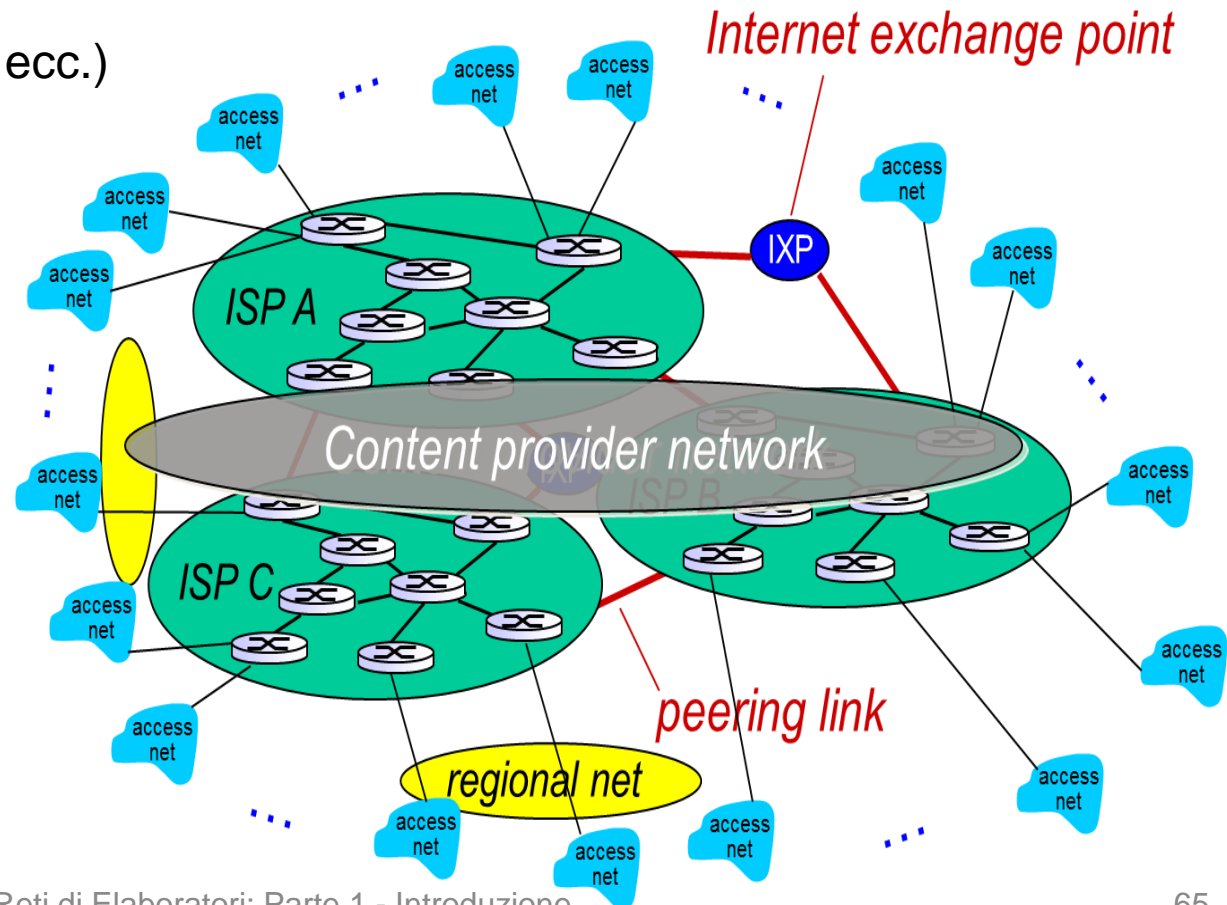
La struttura di Internet: una rete di reti

(V)

Ma in un'ottica di mercato globale ci saranno sicuramente diversi attori che devono essere tra di loro interconnessi

- a delle reti regionali
- a dei content provider (Google, Microsoft, Akamai, ecc.)

I content provider hanno le proprie reti per portare i contenuti in prossimità dei potenziali utenti



La struttura di Internet: una rete di reti (VI)

Riflessioni:

- La struttura **tutti-a-tutti** presenta notevoli problemi di scalabilità ed economici
- La struttura in cui è presente **un unico ISP di transito** sarebbe troppo onerosa e presenterebbe problemi dovuti alla presenza di un unico fornitore di servizi
- La presenza di più fornitori di servizi di transito è quella che si è sviluppata (per ragioni geografico/economiche)
- Non tutti gli ISP hanno una copertura "globale" (anzi questi ISP sono pochissimi). Presenza di **ISP regionali** che si connettono agli **ISP globali**
 - Una simile struttura necessita di numerosi punti di interconnessione di vario tipo: PoP (Point of Presence), multi-homing, peering-point, IXP (Internet Exchange Point) ... vediamo ...

La struttura di Internet: una rete di reti (VII)

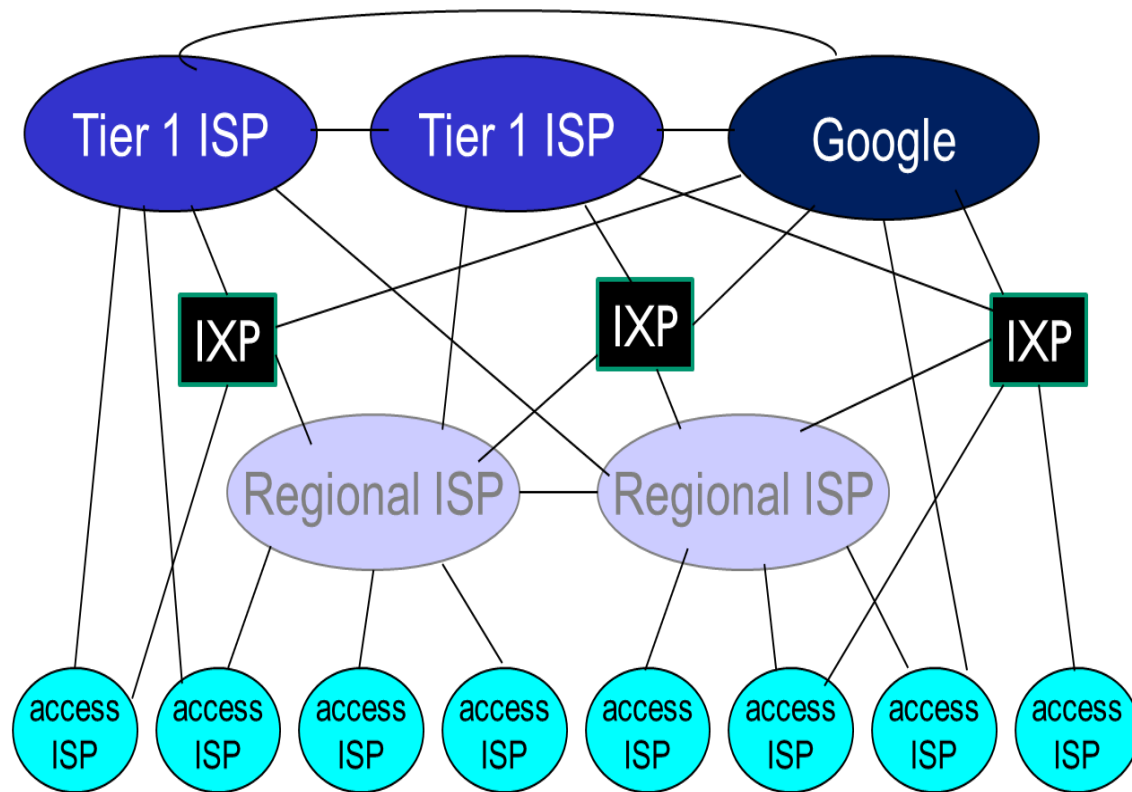
- Un **PoP** è semplicemente un gruppo di router vicini tra di loro (in un edificio) mediante i quali gli ISP clienti possono connettersi all'ISP fornitore
- Modalità **multi-homing** consiste nel connettersi a due o più ISP fornitori del servizio di connettività globale
- Per ridurre i costi alcuni ISP possono scegliere di interconnettersi tra di loro per scambiarsi traffico **senza una relazione cliente-fornitore**: questa è la modalità **peering**
- Un **IXP** è un punto di incontro dove più ISP possono fare peering tra di loro (o incontrarsi clienti e fornitori)

La struttura di Internet: **una rete di reti** (VIII)

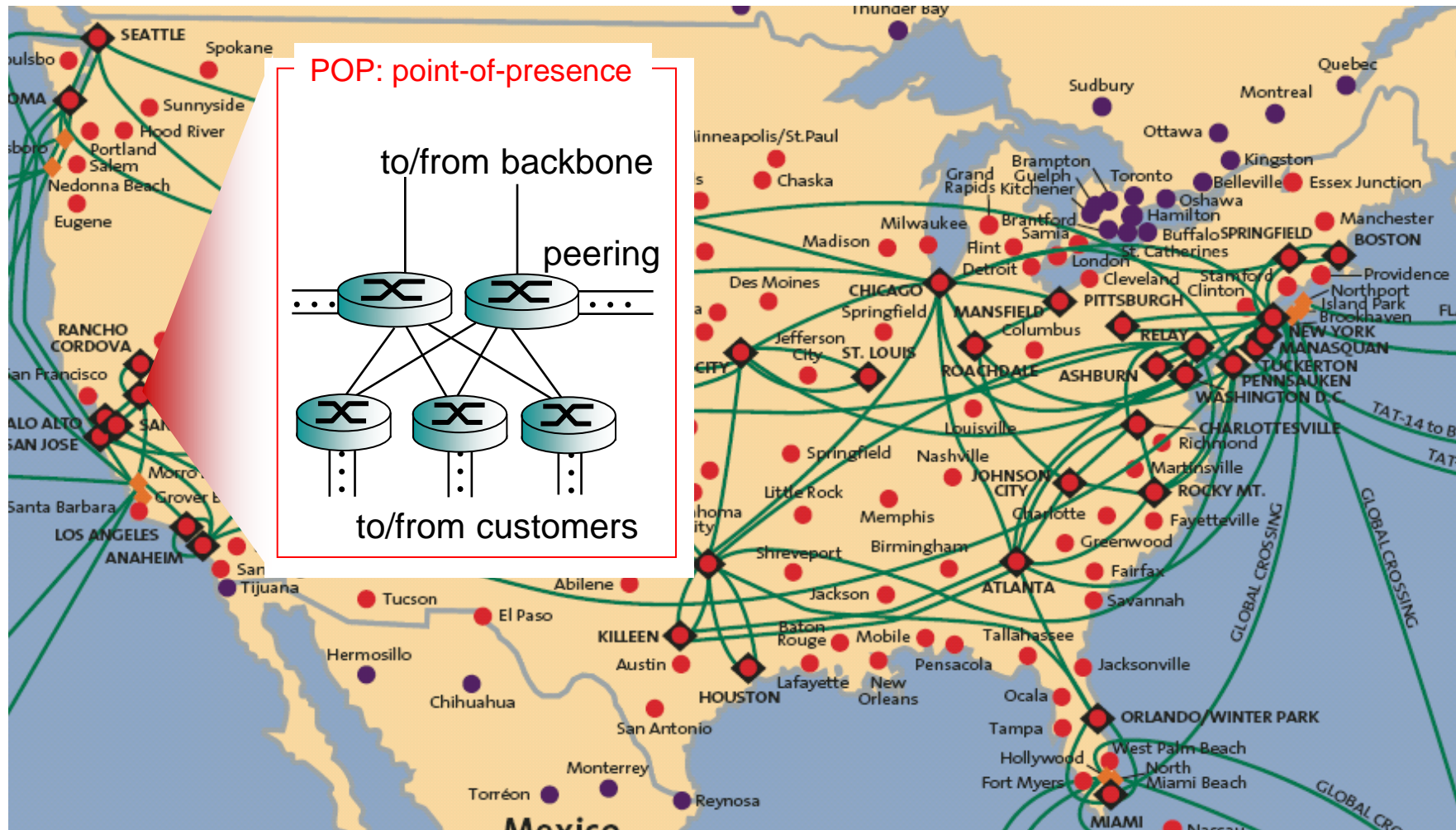
- Nella struttura della rete è presente un'altra tipologia di attori: i **content provider** (es. Google)
 - Questi si occupano di distribuire i contenuti ai loro clienti e per fare ciò dispongono di molti data-center (si stima che Google ne disponga tra i 30 e i 50 distribuiti tra Nord e Sud America, Asia, Europa, e Australia)
 - Alcuni di questi data-center ospitano centinaia di migliaia di server
 - In genere tutti i data-center di un content provider sono interconnessi tra di loro mediante una rete privata del provider, le cui interconnessioni sono stabilite in modo tale da ottimizzare i costi di transito e le prestazioni

La struttura di Internet: una rete di reti (IX)

- Al top un piccolo numero di grandi reti (ben connesse)
 - "Tier-1" ISP come Level 3 Communications, Sprint, AT&T, NTT, che hanno una copertura nazionale ed internazionale
- Un caso a parte è rappresentato dalle reti "private" dei content provider network (es. Google)
 - Reti private che connettono i data center del provider, spesso aggirando le reti Tier-1 e gli ISP regionali



Esempio di un ISP Tier-1: Sprint



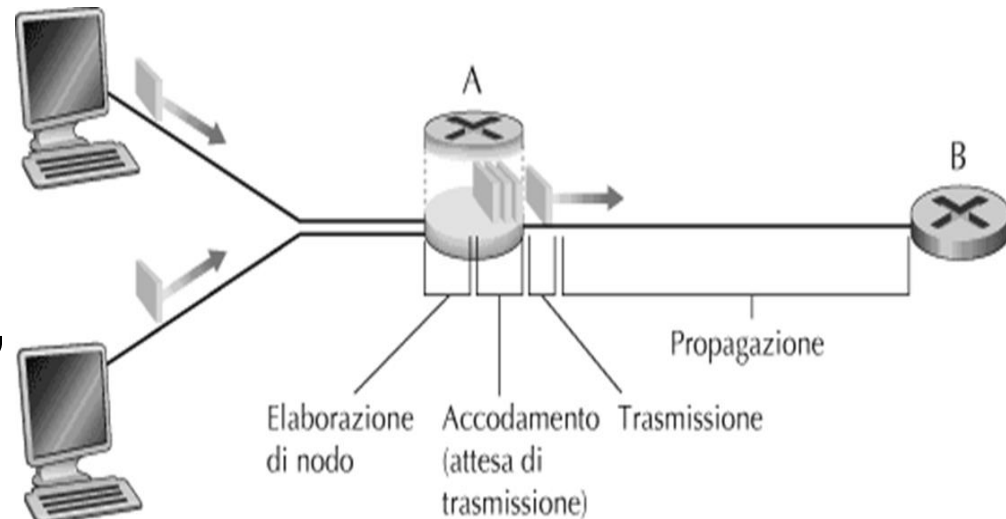
Sommario

- Cosa è Internet ?
- Cosa è un protocollo?
- La network edge, gli host, le reti di accesso, i mezzi fisici di comunicazione
- La network core: commutazione di pacchetto/commutazione di circuito, la struttura di Internet
- **Le prestazioni della rete: perdita di pacchetti, ritardi, throughput**
- L'organizzazione a livelli dei protocolli, i modelli di servizi
- La sicurezza
- Una (breve) storia di Internet

Ritardi nelle reti a pacchetto

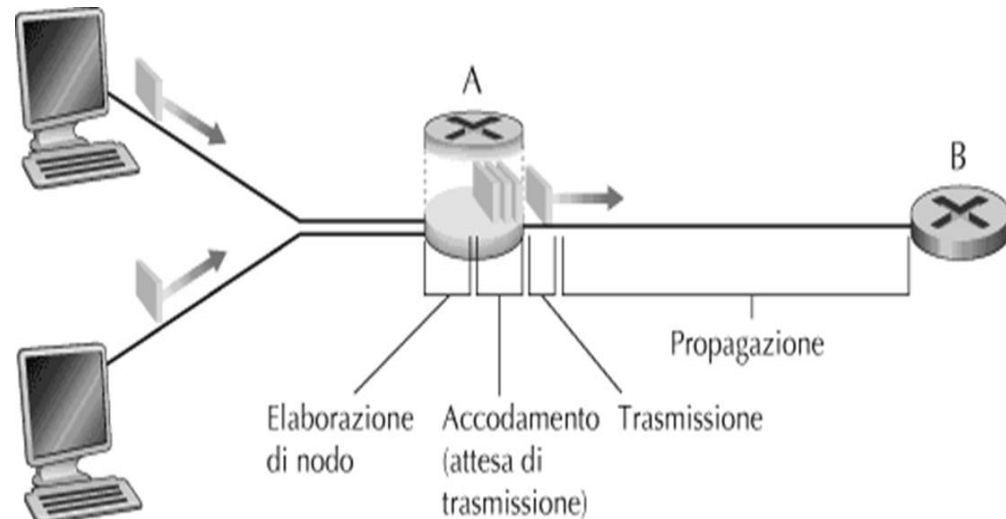
Principali ritardi:

- ritardo di elaborazione,
- ritardo di accodamento,
- ritardo di trasmissione,
- ritardo di propagazione
(formano il ***nodal delay***)



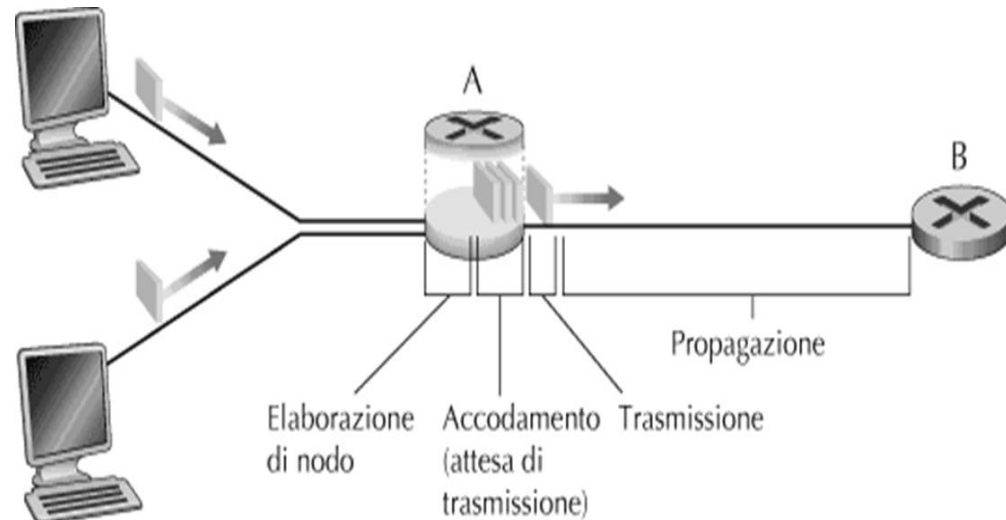
Ritardi nelle reti a pacchetto (II)

- **Ritardo di elaborazione:** tempo richiesto per esaminare l'header del pacchetto: controllare errori (calcolo di una checksum) e determinare dove dirigerlo
 - Nei router ad alta velocità questi ritardi sono dell'ordine dei microsecondi
- Dopo l'elaborazione, il router dirige il pacchetto verso la coda che precede il (sta davanti al) collegamento al router B



Ritardi nelle reti a pacchetto (III)

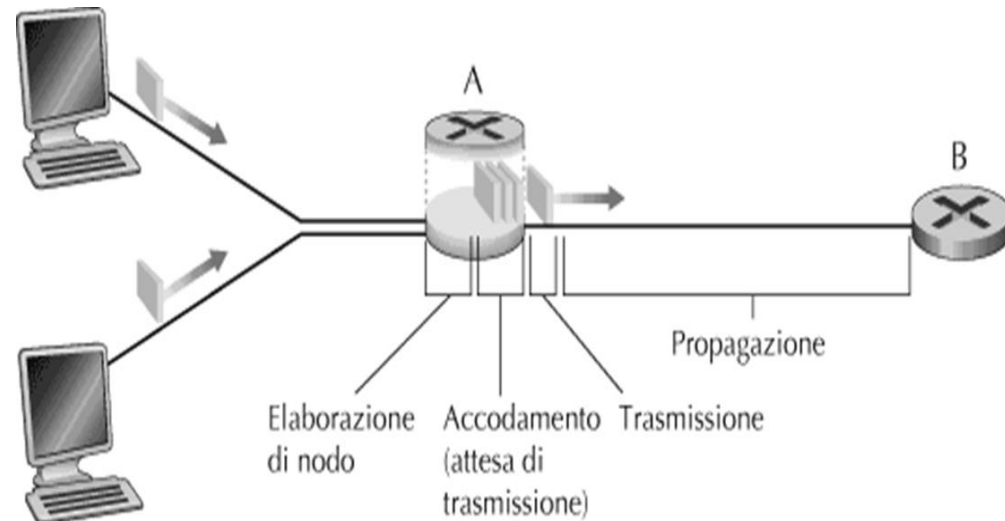
- **Ritardo di accodamento:** ritardo di accodamento, che il pacchetto subisce mentre attende la trasmissione sul collegamento
- L'ampiezza di tale ritardo dipenderà dal numero di pacchetti accodati precedentemente ed ancora in attesa (lunghezza della coda)
 - Se la coda è vuota questo ritardo è nullo
 - Con traffico sostenuto questo ritardo può essere lungo
 - Ordine dei microsecondi o millisecondi
- Attenzione: anche in ingresso ci può essere accodamento (vedremo!)



Ritardi nelle reti a pacchetto (IV)

Ritardo di trasmissione:

- Il pacchetto può essere trasmesso solo dopo che gli altri arrivati prima di lui (politica FCFS) sono stati **trasmessi**
- La trasmissione richiede **tempo** quindi provoca un **ritardo**
- L = lunghezza del pacchetto in bit
- R è la velocità di trasmissione del collegamento dal router A al router B
- Il **ritardo di trasmissione è pari a L/R**
 - Tempo richiesto per trasmettere tutti i bit del pacchetto sul collegamento
 - Ordine dei microsecondi o millisecondi

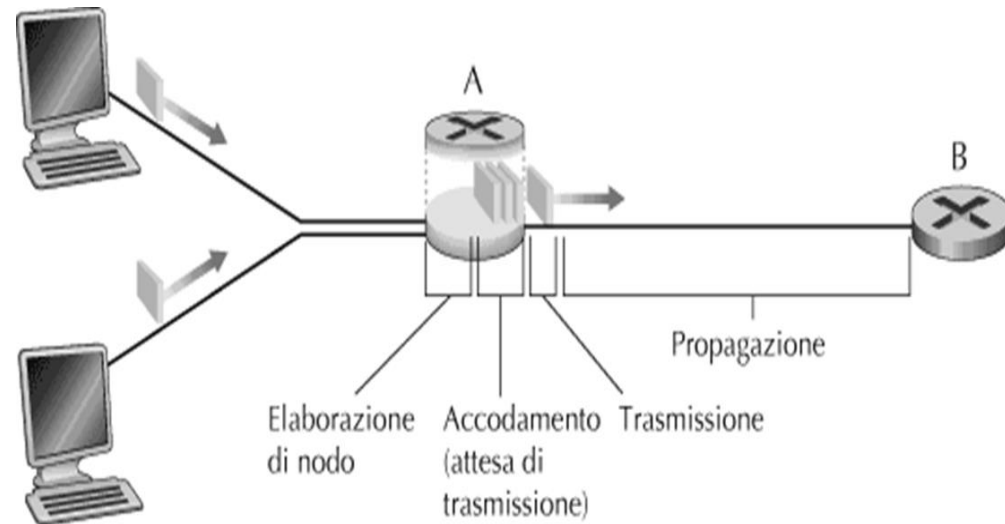


Ritardi nelle reti a pacchetto (V)

Ritardo di propagazione:

- Una volta immesso sul collegamento, un bit deve propagarsi fino al router B. Il tempo impiegato è il ritardo di propagazione (propagation delay)
- d : lunghezza del link fisico
- s : velocità di propagazione nel mezzo fisico ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)

$$d_{\text{prop}} = d/s$$

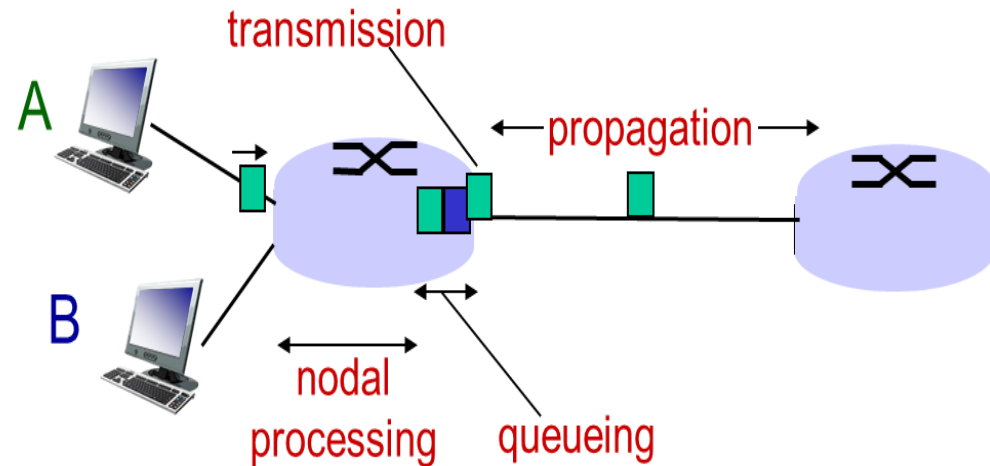


Ritardi nelle reti a pacchetto (VI)

Differenze tra d_{trans} e d_{prop}

d_{trans} è il tempo richiesto per il router per trasmettere in uscita il pacchetto. È funzione della lunghezza del pacchetto e della velocità di trasmissione del link (ma non ha relazione con la distanza tra i due router)

d_{prop} è il tempo richiesto per la propagazione di un bit da un router a quello successivo ed è in relazione con la distanza tra i due router (ma non ha relazione con la velocità del link e neanche con la dimensione del pacchetto)

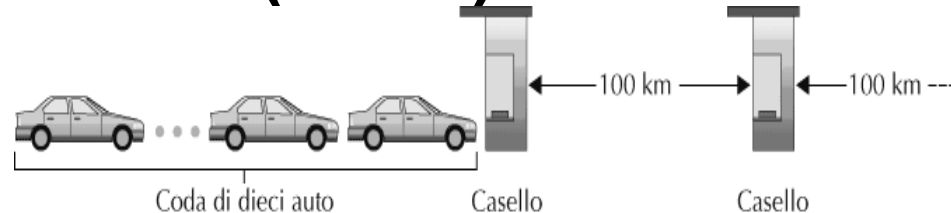


$$d_{nodal} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}$$

Ritardi nelle reti a pacchetto

(VI.I)

Analogia autostradale

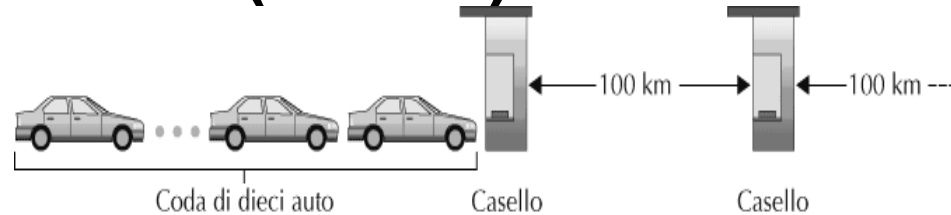


- Autostrada con tratti di 100 km tra un casello e l'altro (collegamenti tra i router)
- Le auto viaggiano (pacchetti che si propagano) ad una velocità di 100 km/h (costante e istantanea)
- 10 auto procedono in gruppo accodate in ordine fisso (auto = bit e il gruppo delle auto = pacchetto)
- Ciascun casello è in grado di far transitare un'auto ogni 12 sec (5 auto al min) – velocità del collegamento
- La prima auto una volta raggiunto il casello attenda le altre del "treno" prima di attraversarlo (tutte le auto devono raggiungere il casello prima di ripartire "store&forward")
- Il tempo richiesto al casello per far transitare tutte le auto è di 2 min (10 auto/(5 auto/minuto)) equivale alla trasmissione di un router in un collegamento
- Il tempo richiesto ad un'auto per spostarsi da un casello al successivo è pari ad 1 ora (100 km/(100 km/h)) corrisponde al ritardo di propagazione
- Il tempo che intercorre da quando l'intera carovana di auto si trova di fronte al casello di partenza fino al momento in cui raggiunge quello successivo è la somma tra ritardo di trasmissione e ritardo di propagazione

Ritardi nelle reti a pacchetto

(VI.II)

Analogia autostradale



- Cosa succederebbe se il tempo di transito ai caselli fosse superiore al tempo richiesto ad un'auto per spostarsi da un casello ad un altro ?
- Es. le auto viaggiano ad una velocità di 1000 km/h ed il casello faccia passare le auto 1 al minuto
- Il tempo di viaggio tra i due caselli sarebbe di 6 minuti mentre il tempo per far defluire l'intero gruppo di auto sarebbe di 10 minuti
- Le prime auto arriverebbero al casello prima che le ultime abbiano lasciato il precedente
- Situazione che si riscontra anche nelle reti a pacchetto: i primi bit di un pacchetto possono pervenire al router successivo mentre molti dei bit del pacchetto sono ancora in attesa al router precedente

Applet all'indirizzo

http://media.pearsoncmg.com/aw/aw_kurose_network_2/applets/transmission/delay.html

Ritardi nelle reti a pacchetto (VII)

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

- d_{prop} può (in genere) essere trascurato per un collegamento tra due router vicini ma non è trascurabile per un collegamento geostazionario (può risultare il termine dominante)
- Anche d_{trans} può (in genere) essere trascurato per velocità di 10 Mbps o superiori
- Il ritardo d_{proc} spesso viene trascurato ma può influenzare il throughput massimo di un router (velocità massima alla quale il router può inoltrare pacchetti)

Queueing delay e packet loss

- La componente d_{queue} è quella più interessante (esistono numerosi libri e risultati scientifici che trattano di questo argomento)
- Ritardo variabile
- Quando d_{queue} è rilevante e quando trascurabile ?
 - Dipende dall'occupazione della coda, dalla velocità di arrivo del traffico alla coda, dalla velocità di trasmissione del collegamento, dalla natura del traffico entrante (traffico periodico, traffico a raffica)

Queueing delay e packet loss (II)

a = velocità media di arrivo dei pacchetti alla coda (pacchetti al secondo)

R = velocità di trasmissione (velocità alla quale i bit vengono trasmessi in uscita dalla coda) in bit/sec

L = lunghezza dei pacchetti in bit

La velocità media di arrivo dei bit in coda è di $L \cdot a$ bit/s

Assumiamo che la coda sia di dimensioni molto grandi

Il rapporto $L \cdot a/R$ denominato **intensità di traffico** rappresenta una grandezza molto importante nella stima del ritardo di accodamento

Se $L \cdot a/R > 1$ allora la velocità media di arrivo dei bit nella coda supera la velocità con la quale vengono trasmessi in uscita. Situazione in cui la coda tenderà a crescere (all'infinito)

Una delle regole più importanti nella progettazione delle reti: *progettare il sistema in modo che l'intensità di traffico non superi 1.*

Queueing delay e packet loss (III)

Consideriamo il caso $L \cdot a/R \leq 1$. In questo caso le caratteristiche statistiche del traffico in arrivo influiscono sul ritardo di coda

- Se i pacchetti arrivano a cadenza periodica (es. un pacchetto ogni L/R secondi) ciascun pacchetto troverà coda vuota e non ci saranno ritardi di accodamento
- Se i pacchetti arrivano a raffiche periodiche si possono verificare ritardi significativi. Es. N pacchetti che arrivano simultaneamente ogni $(L/R)N$ secondi. Il primo pacchetto non subisce ritardo di accodamento, il secondo presenta un ritardo di L/R secondi. In generale l' i -esimo pacchetto (della raffica) ha subito un ritardo di accodamento di $(i-1) L/R$ secondi

Queueing delay e packet loss (IV)

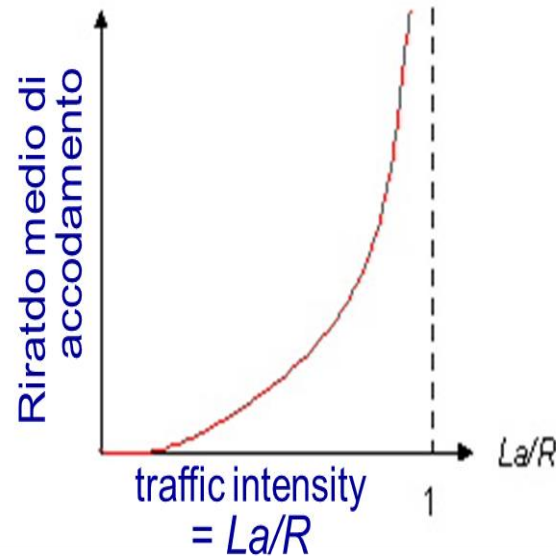
- In genere il processo di arrivo alla coda è un processo casuale (processo stocastico) in cui gli arrivi non seguono uno schema ma i tempi tra due arrivi successivi sono distanziati da quantità di tempo casuale
- La quantità $L a/R$ (di solito) è utile ma non sufficiente per caratterizzare completamente i ritardi
- Intensità di traffico ≈ 0 , allora alla coda arrivano pochi pacchetti e risulta poco probabile che all'arrivo un pacchetto trovi la coda occupata. Ritardo di accodamento quasi nullo
- Intensità di traffico ≈ 1 , ci saranno intervalli di tempo in cui la velocità di arrivo supera la capacità trasmissiva e quindi in questo caso si forma coda ed altri intervallo dove avviene il contrario e quindi la coda si riduce
 - La lunghezza media della coda aumenta sempre di più

Queueing delay e packet loss (V)

R : link bandwidth (bps)

L : packet length (bits)

a : average packet arrival rate



$La/R \sim 0$



$La/R \geq 0$



$La/R \sim 0$: ritardo medio di accodamento piccolo

$La/R \leq 1$: ritardo medio di accodamento grande

$La/R > 1$: in questa situazione la quantità di pacchetti che arriva è maggiore di quella che può essere servita, ritardo medio di accodamento che tende all'infinito!

Applet all'indirizzo

http://media.pearsoncmg.com/aw/aw_kurose_network_2/applets/queueing/queueing.htm

Queueing delay e packet loss (VI)

- L'assunzione che la dimensione della coda possa crescere indefinitamente non è realistica
- Le code (buffer) possono contenere un numero finito di pacchetti
- Un pacchetto al suo arrivo può trovare la coda piena e quindi viene scartato
 - Pacchetto spedito ma mai arrivato a destinazione
- Prestazioni: ritardi ma anche percentuali di perdita di pacchetti

Queueing delay e packet loss (VII)

- Ritardi accumulati ad un nodo (singolo router)
- Ritardi end-to-end
 - N-1 router tra sorgente e destinazione
 - Rete non congestionata (ritardi di accodamento trascurabili)
 - d_{proc} : ritardo di elaborazione a ciascun router
 - R (bps): velocità trasmissione in uscita da ogni router
 - d_{prop} : ritardo di propagazione
 - $d_{trasm} = L/R$


Ritardo complessivo end-to-end

$$d_{end-to-end} = N(d_{proc} + d_{trasm} + d_{prop})$$

Queueing delay e packet loss (VIII)

traceroute: gaia.cs.umass.edu to www.eurecom.fr

3 delay measurements from
gaia.cs.umass.edu to cs-gw



```
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
```

tra
lin

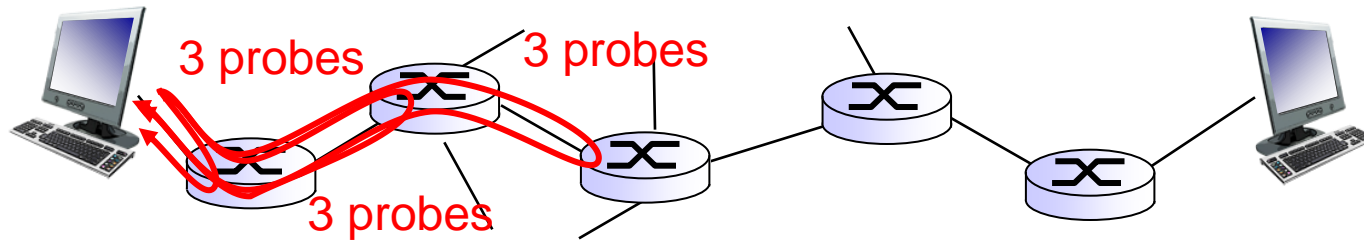
* means no response (probe lost, router not rep

Queueing delay e packet loss (IX)

Traceroute → programma diagnostico eseguibile su qualsiasi host di Internet

Reperibile sul sito <http://www.traceroute.org/>, che fornisce un'interfaccia web e una lunga lista di sorgenti

Permette di calcolare ritardi tra un router ed il successivo

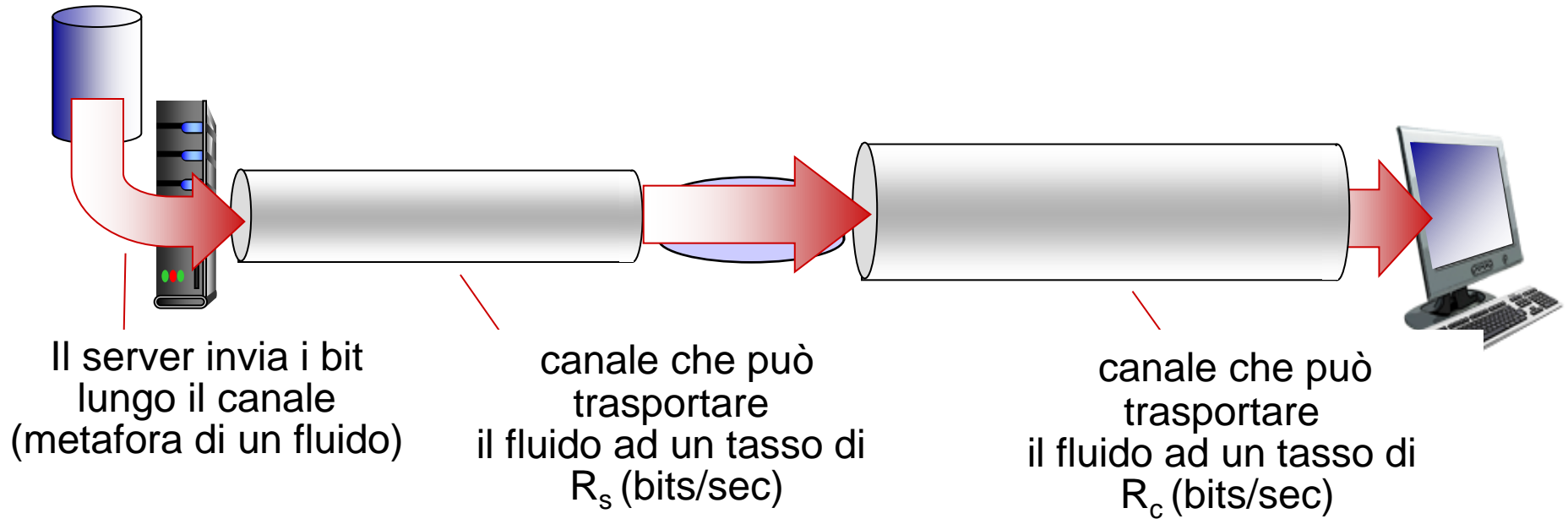


Throughput nelle reti

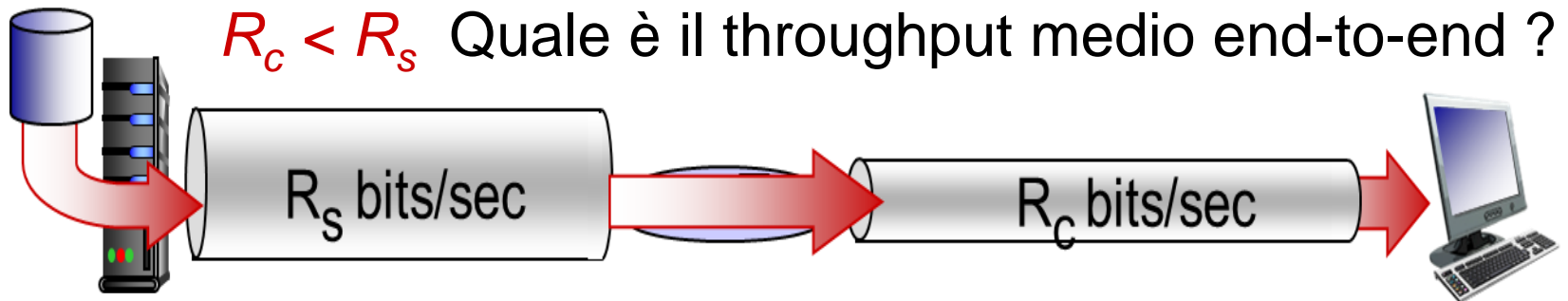
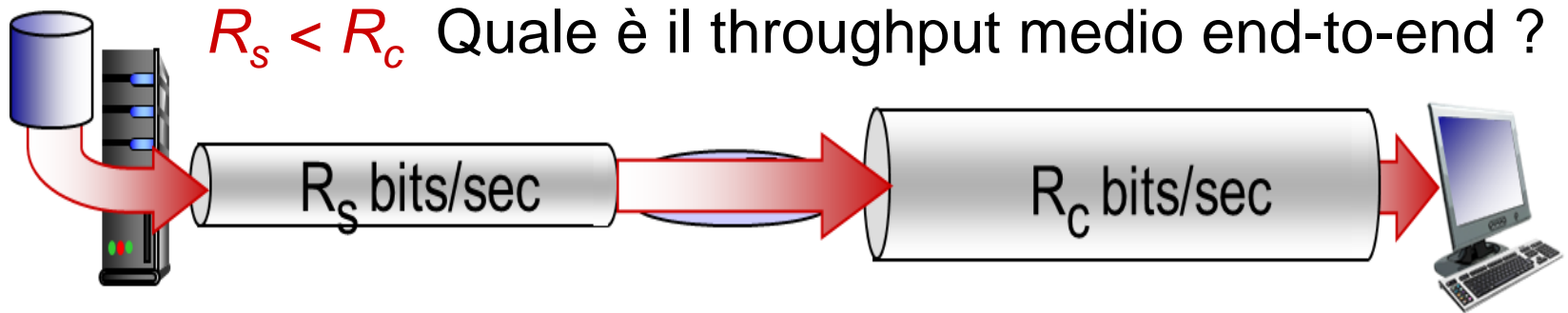
Throughput: tasso (espresso in bits/unità di tempo) al quale i bit vengono trasmessi tra la sorgente ed il ricevitore

- **istantaneo**: tasso in un breve (tendenzialmente nullo) periodo di tempo
- **medio**: tasso mediato su un periodo di tempo lungo. Ci si occupa sempre del **throughput medio**
- Per alcune applicazioni è auspicabile avere un **ritardo basso** ed un **throughput istantaneo** sopra una certa soglia in modo continuativo
- Es. sopra i 24 kbps per telefonia su IP, oltre i 256 kbps per applicazioni video in tempo reale
- Per altre applicazioni (es. trasferimento file) il **ritardo non è critico** ma è auspicabile avere un **elevato throughput medio**

Throughput nelle reti (II)



Throughput nelle reti (III)

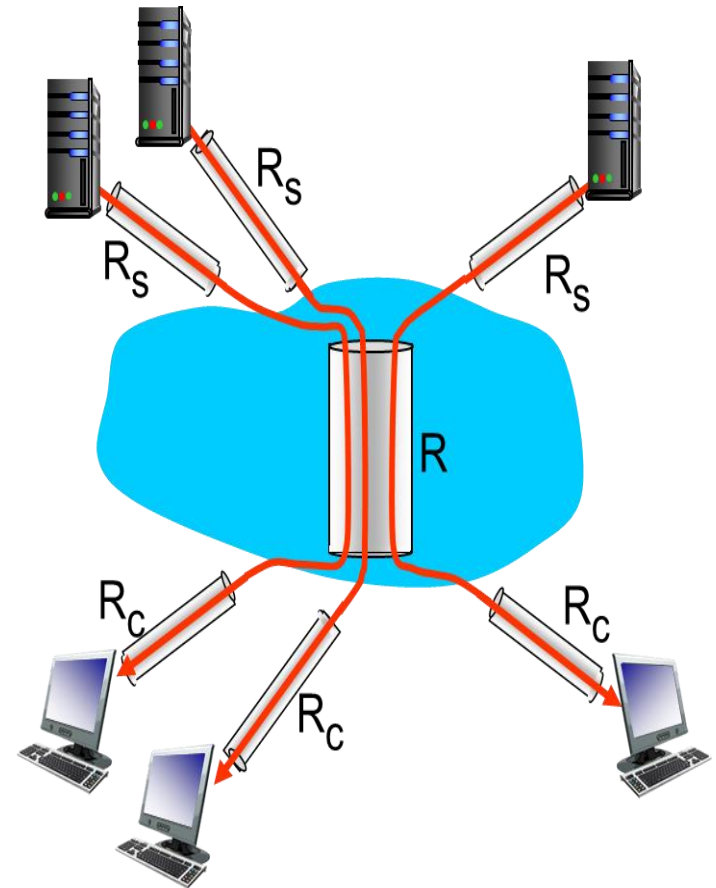


bottleneck link

- Link sul percorso end-to-end che limita il throughput end-to-end
- **È il link con velocità minima**

Throughput nelle reti (IV)

- throughput per-connection end-end $\min(R_c, R_s, R/10)$
- in pratica: R_c oppure R_s è spesso il collo di bottiglia



10 connessioni condividono (equamente)
un link con velocità di R bits/sec

Sommario

- Cosa è Internet ?
- Cosa è un protocollo?
- La network edge, gli host, le reti di accesso, i mezzi fisici di comunicazione
- La network core: commutazione di pacchetto/commutazione di circuito, la struttura di Internet
- Le prestazioni della rete: perdita di pacchetti, ritardi, throughput
- **L'organizzazione a livelli dei protocolli, i modelli di servizi**
- La sicurezza
- Una (breve) storia di Internet

Livelli dei protocolli e modelli di servizio

Quale può essere un modo adeguato per organizzare l'architettura delle reti ?

Sistemi complessi:

Una strutturazione esplicita consente l'identificazione delle parti e delle relazioni tra di esse

Un modello di riferimento a livelli per lo studio, la specifica e il progetto

Modularizzazione facilita la **specifica**, la **implementazione**, il **mantenimento** e l'**aggiornamento** di un sistema

La modifica dell'implementazione del servizio di un livello è trasparente al resto del sistema **(a pari API!)** perché la funzionalità viene mantenuta

Internet è un sistema estremamente complesso

- host
- router
- links di comunicazione
- applicazioni
- protocolli
- hardware, software

Livelli dei protocolli e modelli di servizio

(II)

- Un'architettura a livelli consente di **descrivere/specificare** una parte specifica e distinta di un sistema complesso grazie alla **modularità**
- È molto più agevole cambiare l'implementazione di un servizio fornito da un determinato livello fino a quando il livello **fornisce lo stesso servizio** allo strato superiore ed **utilizza gli stessi servizi** dello strato inferiore
- Nel caso di sistemi complessi di grandi dimensioni che vengono costantemente aggiornati, la capacità di cambiare l'implementazione di un servizio (a pari API) senza coinvolgere altre componenti del sistema è un aspetto importantissimo: vantaggio della **stratificazione**

Perché i livelli?

Sistemi complessi:

- Una strutturazione esplicita consente l'identificazione delle parti e delle relazioni tra di esse
 - **modello di riferimento** a livelli per lo studio e la specifica
- La strutturazione facilita la modularizzazione, che a sua volta facilita il mantenimento e l'aggiornamento di un sistema
 - La modifica dell'implementazione del servizio di un livello è trasparente al resto del sistema
- Alcuni criticano la strutturazione a livelli perché "pesante" e perché induce "inefficienza" a causa dell'information hiding

Perché servono molti protocolli?

- Occorre una famiglia o suite di protocolli per affrontare una serie di problemi:
 - fallimenti hardware
 - congestione a livello di rete
 - ritardo o perdita di pacchetti
 - corruzione dei dati
 - duplicazione dei pacchetti o errori di sequenza
 - consegna di pacchetti da applicazione ad applicazione
 - **Aggiungere funzionalità passo passo**

Livelli dei protocolli e loro modelli di servizio

Per dare **struttura** alla specifica/progettazione dei protocolli di rete, i progettisti li organizzano (oltre che in base all'hardware e al software che li implementa) in **livelli** o **strati** (*layer*)

Ciascun protocollo appartiene a un livello; un livello di protocolli può essere implementato via software, hardware o con una combinazione dei due

Ciascun livello può essere implementato "separatamente", o "assieme a un livello contiguo" (superiore o inferiore)

Considerati nel loro insieme, i protocolli dei vari livelli sono detti **pila di protocolli** (*protocol stack*)

Livelli dei protocolli e loro modelli di servizio (II)

- Quale funzionalità si deve localizzare in ciascun livello di protocollo?
- Quasi tutte le suite di protocolli, anche quelle **proprietarie** (mentre **internet è una suite aperta**) sono giunte allo stesso schema
- **Il modello di riferimento ISO a 7 livelli**
 - Lavoro di standardizzazione fatto dall'***International Organisation for Standardisation: Open System Interconnection (OSI)***, suite **aperta multivendor**

Livelli dei protocolli e loro modelli di servizio (III)

Lavoro di standardizzazione fatto dall'***International Organisation for Standardisation: Open System Interconnection (OSI)***, suite **aperta multivendor**

Layer	Functionality
7	Application
6	Presentation
5	Session
4	Transport
3	Network
2	Data Link (Hardware Interface)
1	Physical Hardware Connection

Livelli dei protocolli e loro modelli di servizio (IV)

- **Fisico**: trattamento e specifica dell'hardware del mezzo trasmissivo
- **Data Link**: realizzazione della trama di trasmissione e trattamento del link o della sottorete. È l'**interfaccia hardware con cui parla IP**
- **Rete**: il livello di interconnessione delle sottoreti. Corrisponde al protocollo IP. Servizio host-to-host

Layer	Functionality
7	Application
6	Presentation
5	Session
4	Transport
3	Network
2	Data Link (Hardware Interface)
1	Physical Hardware Connection

Livelli dei protocolli e loro modelli di servizio (V)

- **Trasporto**: realizza una connessione **affidabile** fra **applicazioni** (non fra solo fra macchine)
- **Sessione**: (manca in internet) fornisce servizi di **sincronizzazione**, che non sono disponibili a livello di trasporto

Layer	Functionality
7	Application
6	Presentation
5	Session
4	Transport
3	Network
2	Data Link (Hardware Interface)
1	Physical Hardware Connection

Livelli dei protocolli e loro modelli di servizio (VI)

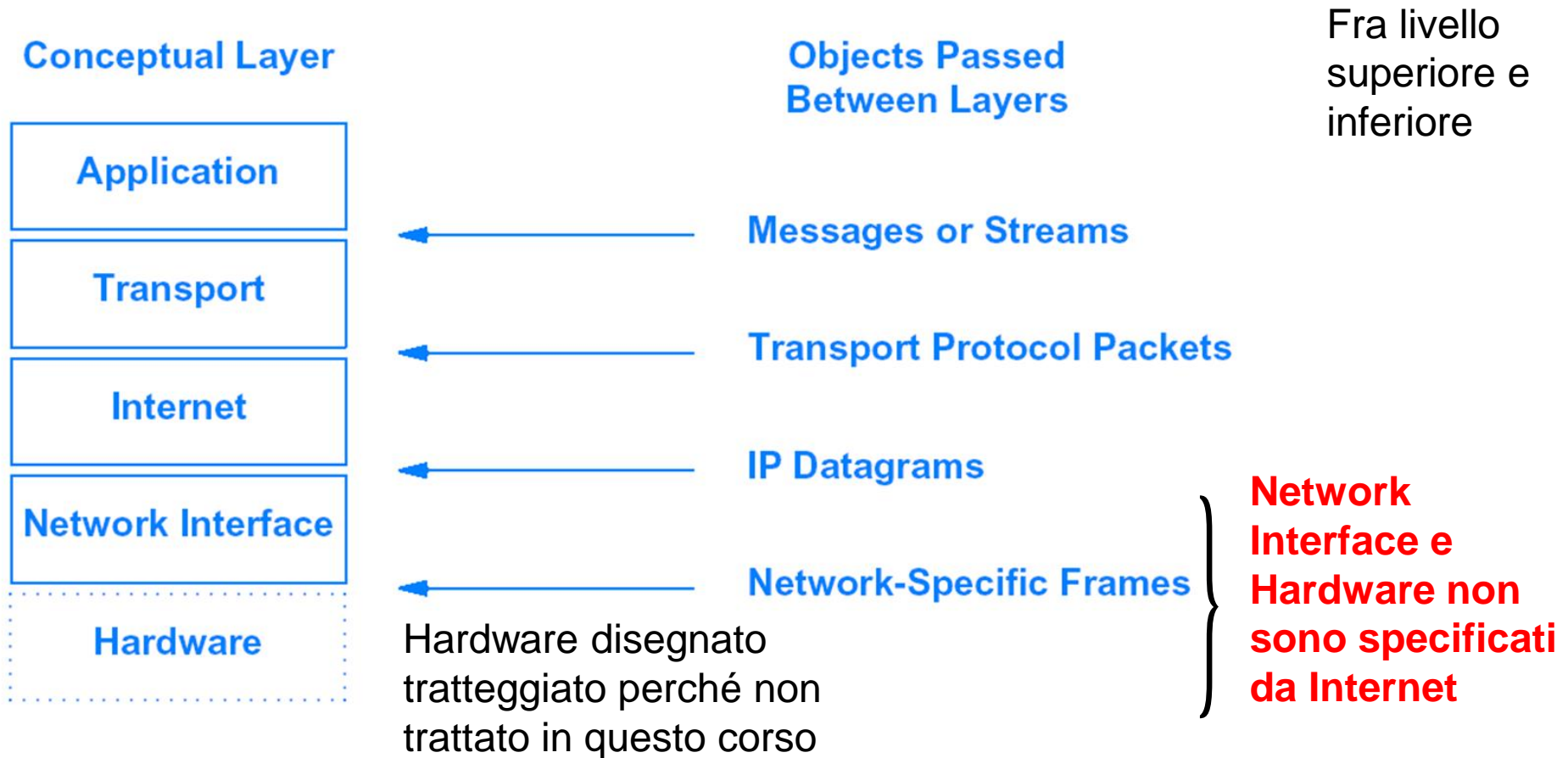
- **Presentazione**: (manca in internet) permette il trasferimento di strutture dati anche complesse, con mantenimento del **significato** dei dati
- **Applicazione**: finalmente le applicazioni distribuite di interesse per gli utilizzatori (ad es. posta elettronica)

Layer	Functionality
7	Application
6	Presentation
5	Session
4	Transport
3	Network
2	Data Link (Hardware Interface)
1	Physical Hardware Connection

Il modello di riferimento TCP/IP a 5 livelli (I)

- Modello che non è nato da un comitato per gli standard, ma dalla ricerca e dalla sperimentazione
- Pensato dagli **utenti** del sistema e non dai **produttori** (vendor)
- Ha portato alla definizione della famiglia di protocolli TCP/IP
- **Cinque** livelli concettuali (o **quattro** se si fondono assieme Datalink Fisico, come in realtà pensavano i progettisti di Internet)

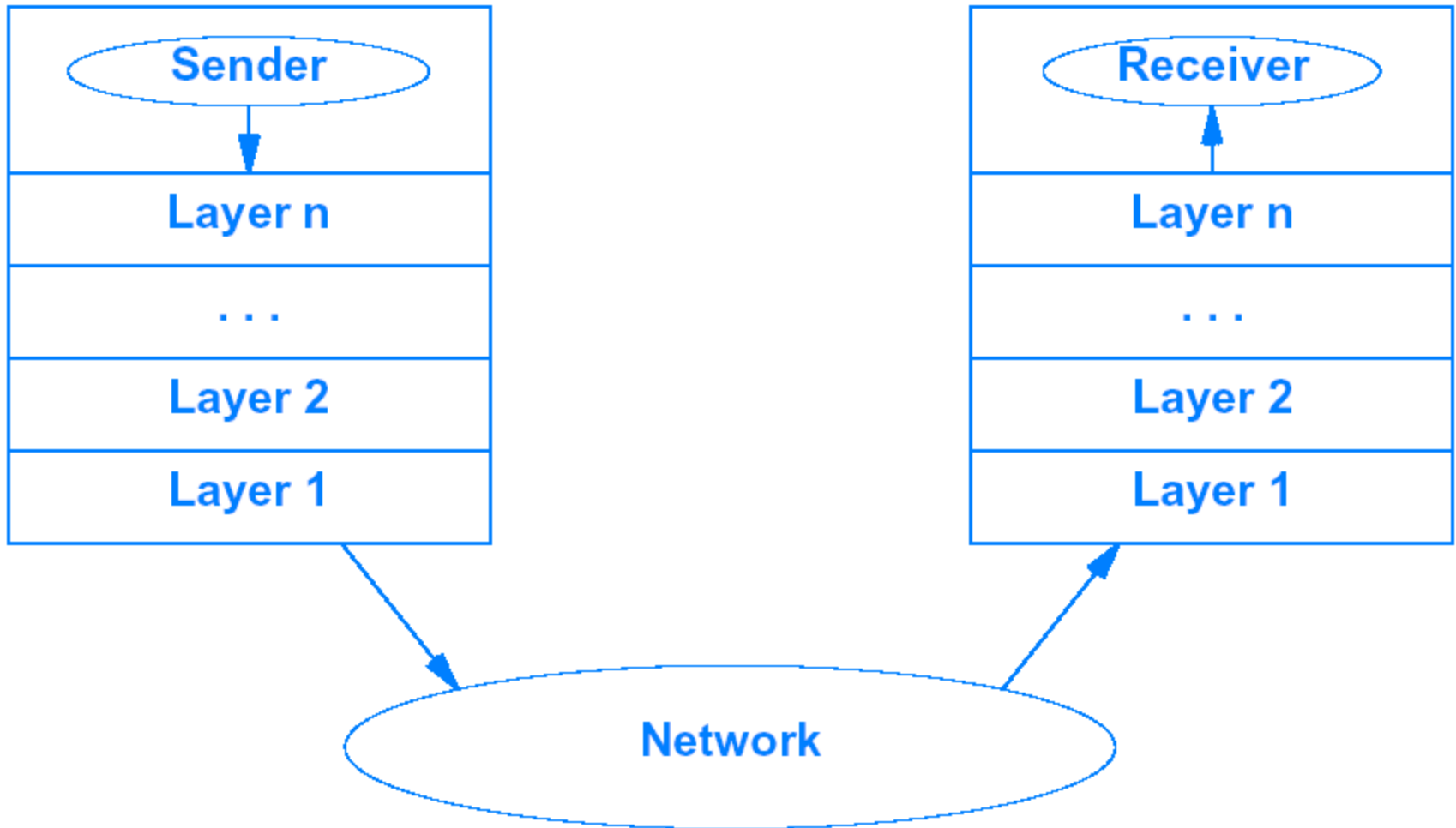
Il modello di riferimento TCP/IP a 5 livelli (II)



Il modello di riferimento TCP/IP a 5 livelli (III)

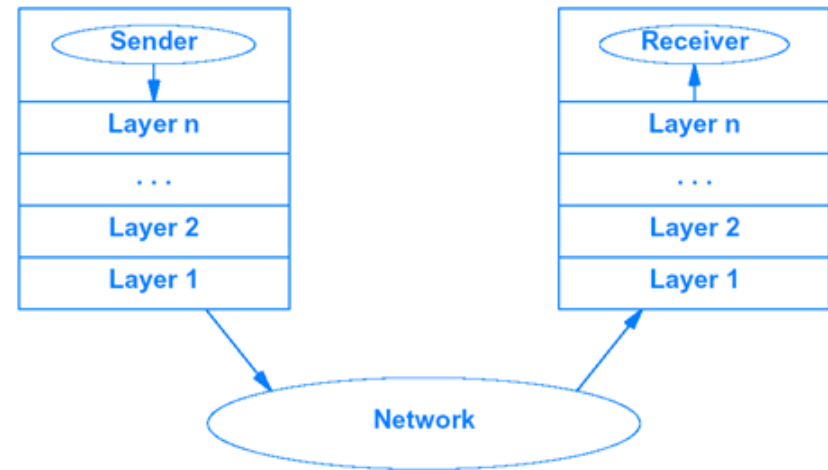
- Application
 - Strato più alto, gli utenti eseguono i programmi applicativi che interagiscono mediante uno dei protocolli dello strato transport per inviare e ricevere i dati
- Transport (TCP/UDP)
 - La sua funzione principale è quella di fornire la **comunicazione da un programma applicativo ad un altro (comunicazione end-to-end)**
- Internet Protocol (IP)
 - Gestisce la comunicazione host-to-host. Inoltro dei datagram attraverso router ed host
- Network interface (chiamato livello hardware da internet)
 - Il software TCP/IP nello strato più basso accede allo strato di interfaccia di rete responsabile dell'accettazione dei datagram IP e della loro trasmissione su una rete specifica
 - **Non è parte degli standard di internet**
 - **I protocolli di internet vogliono poter usare qualunque link o rete (ad es. LAN ...)**

I livelli concettuali del software di protocollo

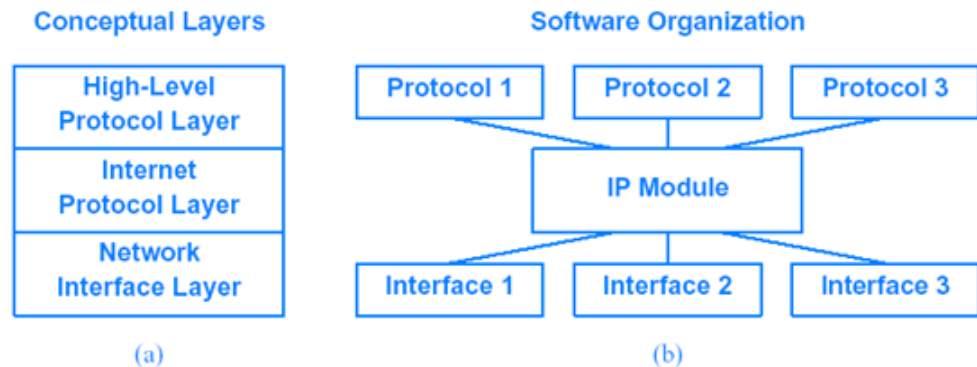


I livelli concettuali del software di protocollo (II)

Organizzazione concettuale



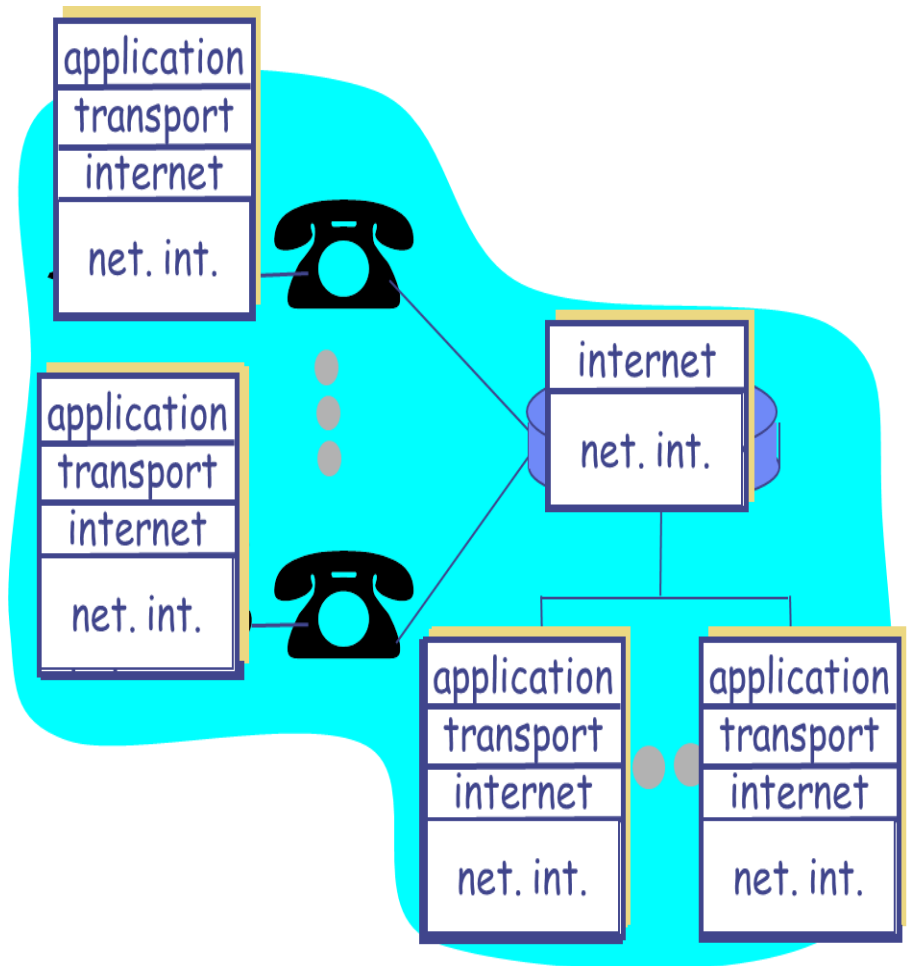
Organizzazione del software



Struttura a livelli: comunicazione logica

Ogni livello:

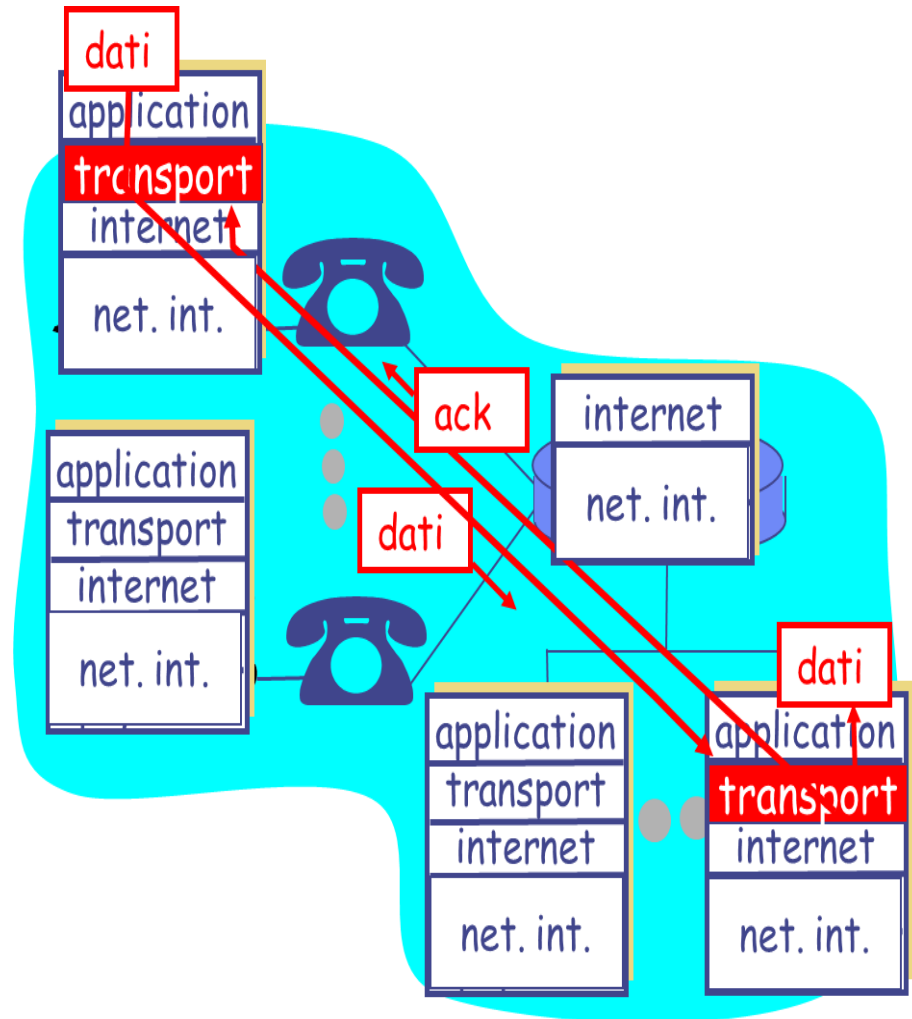
- **Distribuito**
- Costituito da "**Entità**" che implementano le funzioni di un livello ad ogni nodo
- Entità eseguono azioni, scambiano messaggi con i propri "pari"
- Entità interagiscono con il livello superiore e inferiore sullo stesso nodo



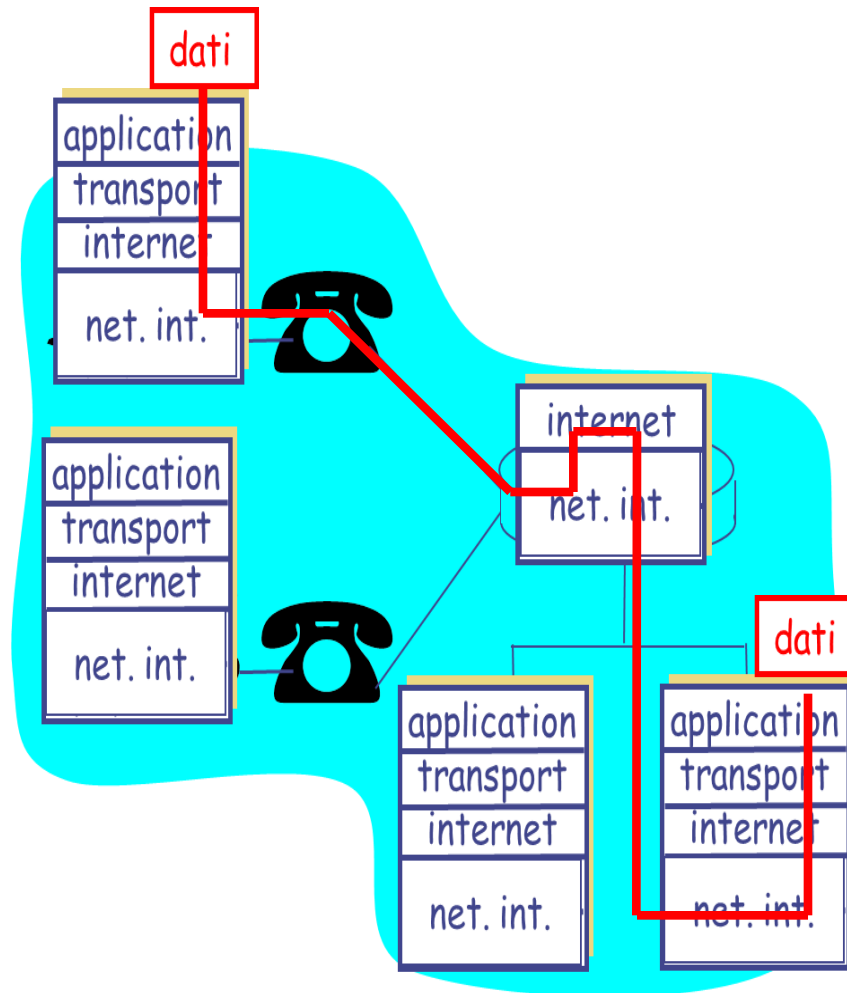
Struttura a livelli: comunicazione "logica" (II)

E.g.: transport

- Riceve dati dall' application
- Aggiunge indirizzamento e informazioni sul controllo di affidabilità, per formare un **segmento**
- spedisce il segmento al proprio "paritario", usando IP
- Attende che il "paritario" confermi la ricezione (con un "ack")



Struttura a livelli: comunicazione "fisica"

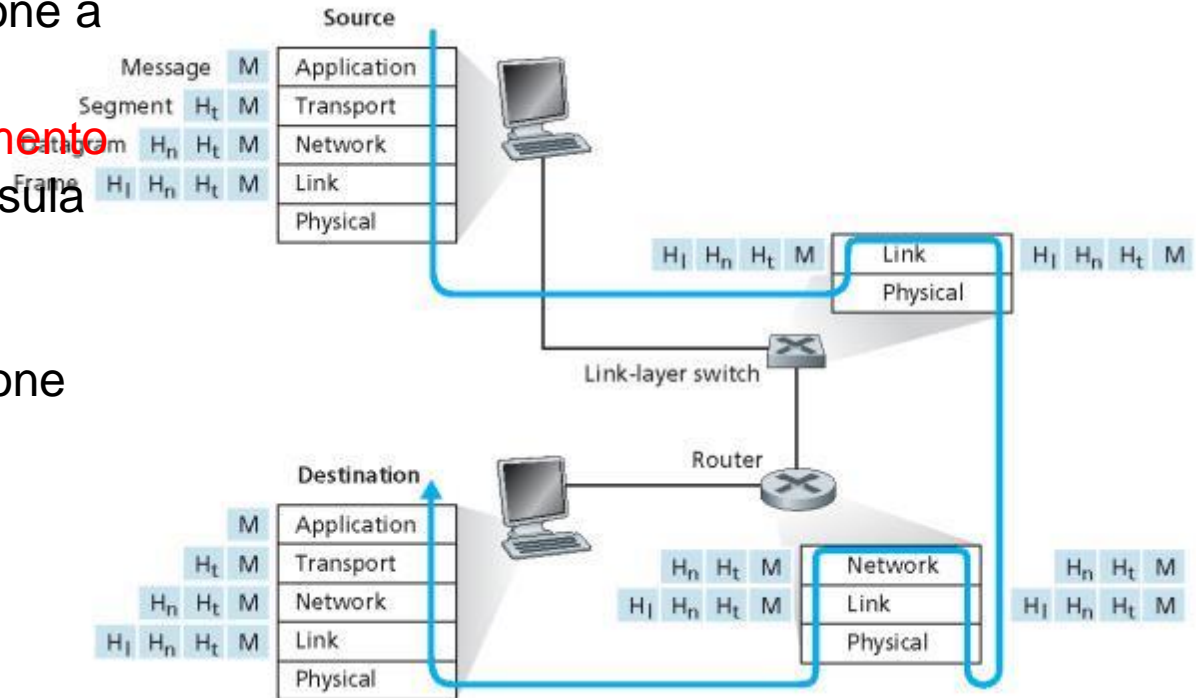


M → messaggio a livello di applicazione (*application-layer message*)

H_t → informazioni di intestazione a livello di trasporto

M e H_t → costituiscono il **segmento** a livello di trasporto che incapsula il messaggio del livello di applicazione

H_n → informazioni di intestazione proprie del livello di rete → **datagramma** a livello di rete (*network-layer datagram*)



Il datagramma viene passato al livello di collegamento, il quale aggiunge le proprie informazioni di intestazione H_l creando un **frame** a livello di collegamento (*link-layer frame*)

A ciascun livello, il pacchetto ha **due tipi di campi**:

I **campi di intestazione** (in genere più di uno) e il campo di **payload** (in genere uno) che contiene il messaggio proveniente dal livello superiore

Posizionare "l'intelligenza"

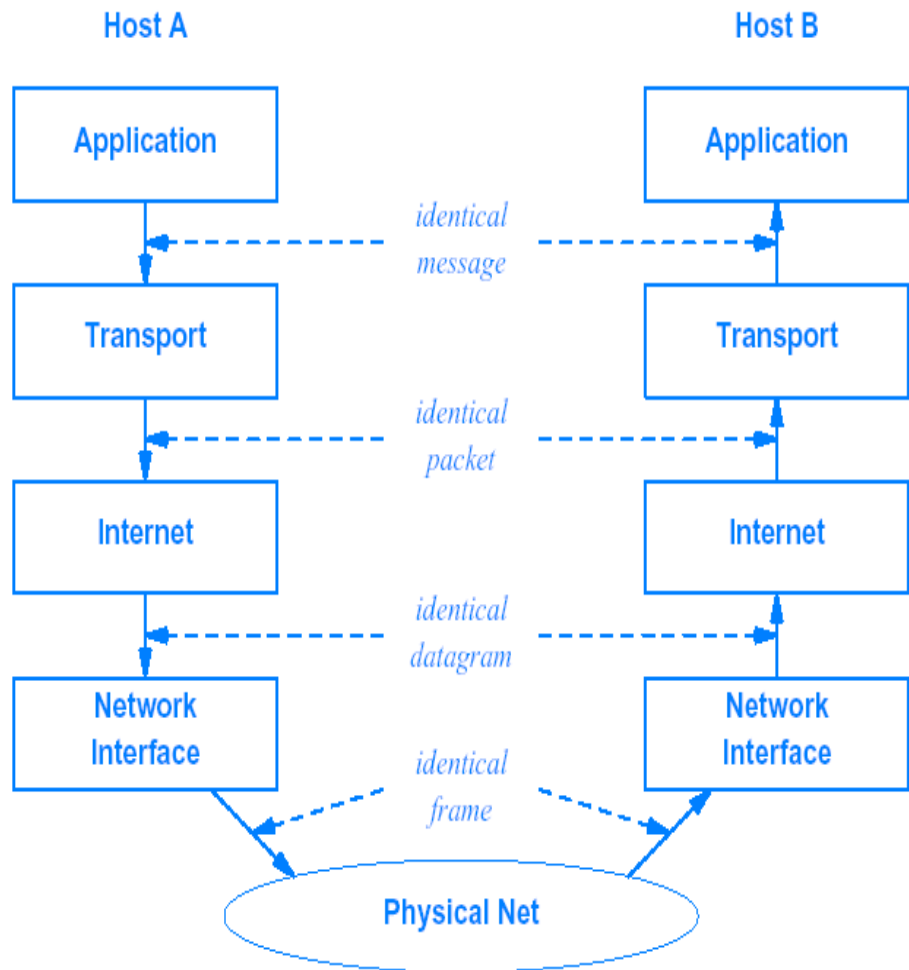
- TCP/IP richiede che il software di un host partecipi a quasi tutti i protocolli di rete
 - Gli host implementano **attivamente** il rilevamento e la correzione degli errori **end-to-end**
- Nota: a differenza di una rete telefonica un'internet può essere vista come un sistema di consegna dei pacchetti relativamente semplice a cui sono collegati host "intelligenti"

I protocolli TCP/IP mettono gran parte dell'intelligenza di rete negli host, mentre i router in Internet inoltrano i datagram, ma **non** partecipano ai servizi di livello più alto

Il principio della stratificazione dei protocolli

- Illustrato per internet, ma è uguale per OSI
- Il progettista affronta (può affrontare) un livello alla volta, e si concentra nella implementazione del protocollo (regola di comportamento e formato di messaggi) che caratterizza il livello
- Ogni livello utilizza i servizi offerti dal livello inferiore e offre dei servizi al livello superiore. L'utilizzo dei servizi sottostanti può (ma non deve necessariamente) essere realizzato come consegna di messaggi al livello inferiore, e ricezione di messaggi dal livello inferiore

Il principio della stratificazione dei protocolli (II)

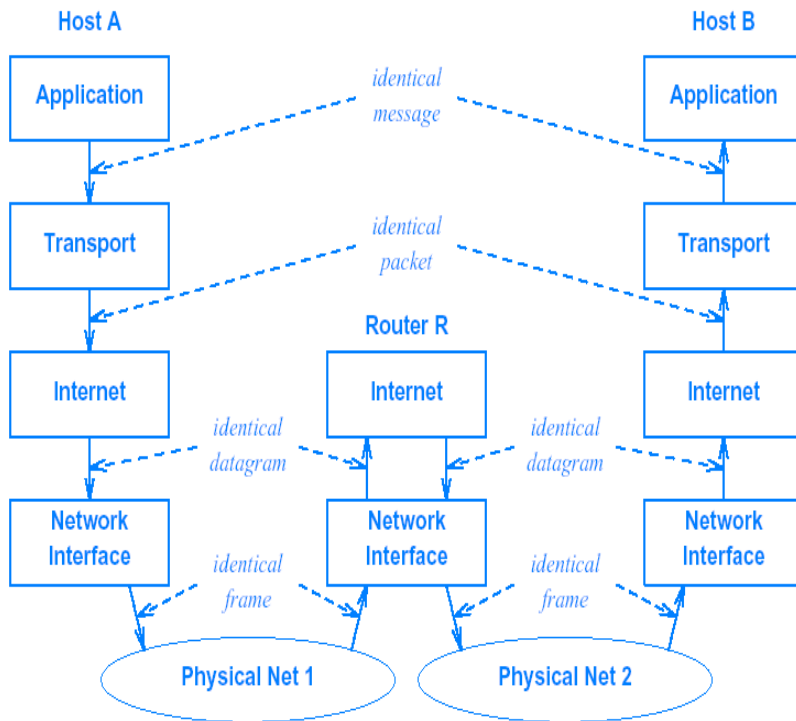


I protocolli stratificati sono progettati in modo che lo strato n alla destinazione riceva esattamente lo stesso oggetto inviato dallo strato n dalla sorgente

Stratificazione in un ambiente internet

TCP/IP

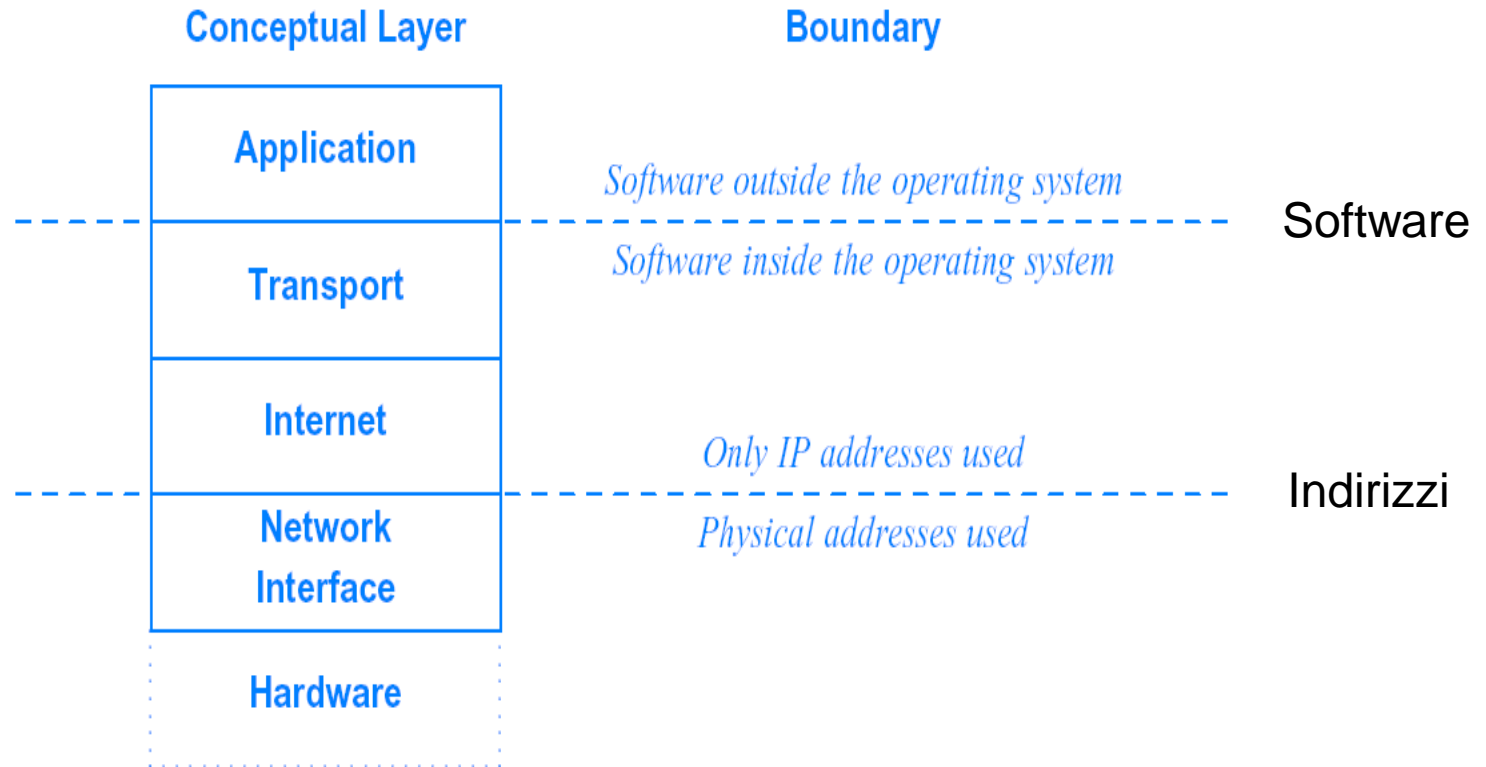
L'enunciato del principio di stratificazione è piuttosto vago
Non si distingue in esso il trasferimento dalla sorgente alla destinazione finale e il trasferimento attraverso più reti



Il principio di stratificazione afferma che il frame recapitato a R è identico al frame inviato dall'host A

Negli Application e Transport il principio di stratificazione si applica end-to-end mentre al di sotto si applica ai trasferimenti tra host (o tra router-host)

Due confini molto importanti in TCP/IP



Notare che sia **Trasporto** che **Internet** sono implementati a livello di sistema operativo per raggiungere i necessari livelli di efficienza, mentre i protocolli superiori sono fuori dal sistema per non appesantirlo.

Svantaggi della stratificazione

- Lo svantaggio è la risultante inefficienza, soprattutto se la implementazione si basa sul passaggio di messaggi, con copia degli stessi, da uno strato all'altro
- Anche la separazione delle informazioni di pertinenza dei due livelli può provocare inefficienza (formati degli header, lunghezze, etc.)
- Si può ridurre il peso con una "oculata" comunicazione o condivisione delle informazioni (vedi ad es. le ottimizzazioni di Bill Joy su TCP di Unix V7)

Multiplexing e Demultiplexing (1)

È un concetto fondamentale nei protocolli!

Attenzione: termine già usato precedentemente, ma qui ha un "sapore" diverso (sempre condivisione)

- ***Multiplexing*** = diversi servizi utilizzatori inviano messaggi (che obbediscono a protocolli diversi) utilizzando stesso servizio fornitore, contraddistinti/discriminati (i messaggi) da un campo opportuno che è proprio del servizio utilizzatore stesso
- ***Demultiplexing*** = sul lato ricevente, il servizio fornitore consegna i diversi messaggi ai servizi utilizzatori "giusti", basando la propria decisione sul valore del campo che distingue l'utilizzatore del servizio

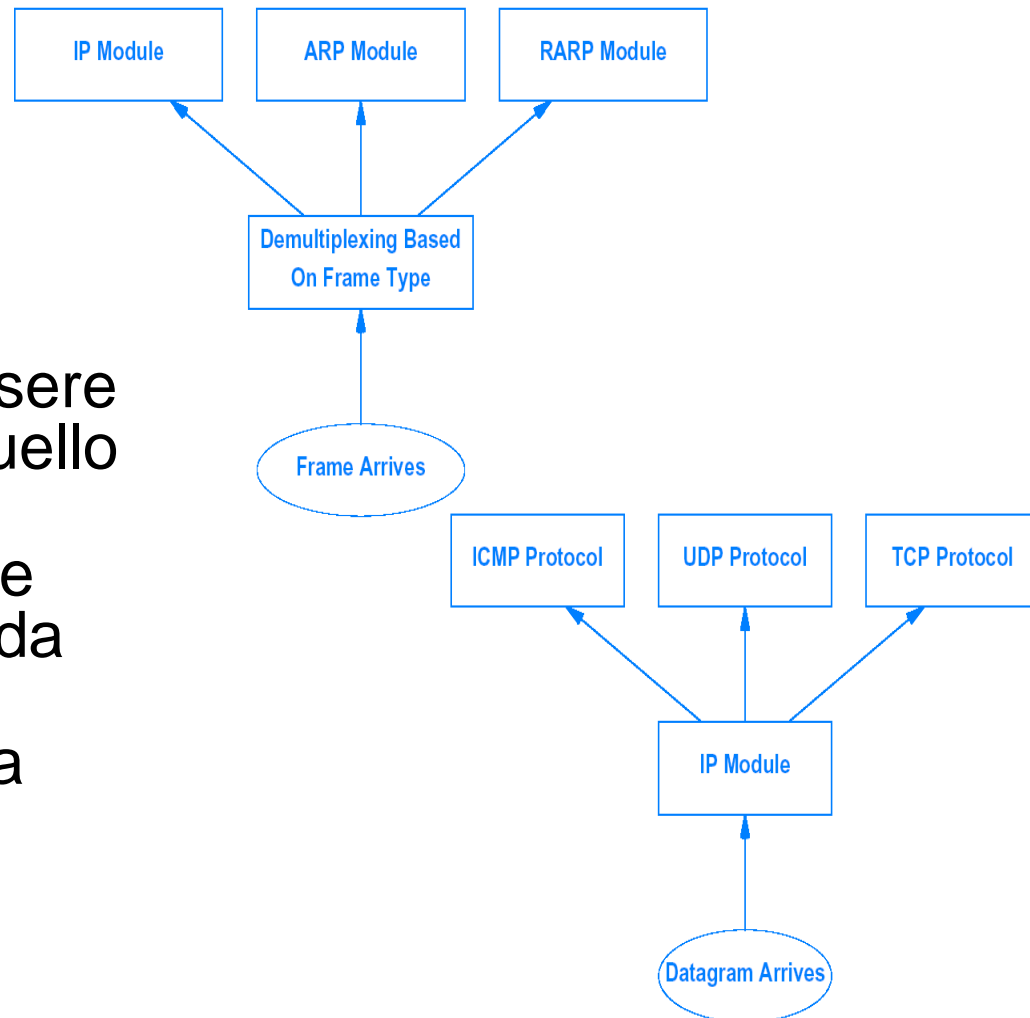
Multiplexing e Demultiplexing (2)

- È molto comune che un servizio offra multiplexing ...
- E che i servizi utilizzatori lo utilizzino (devono cooperare!)
- **Attenzione: il termine multiplexing/demultiplexing ha molte sfumature e viene usato con significato un po' diverso nel corso: ad es., Time Division Multiplexing**
- Mux/demux in generale vuole solo dire che una certa risorsa viene **condivisa** da diversi utilizzatori
- Quindi bisogna fare attenzione al contesto in cui viene posta la domanda!!

Multiplexing e Demultiplexing (3)

Esempi di multiplexing nei protocolli di rete:

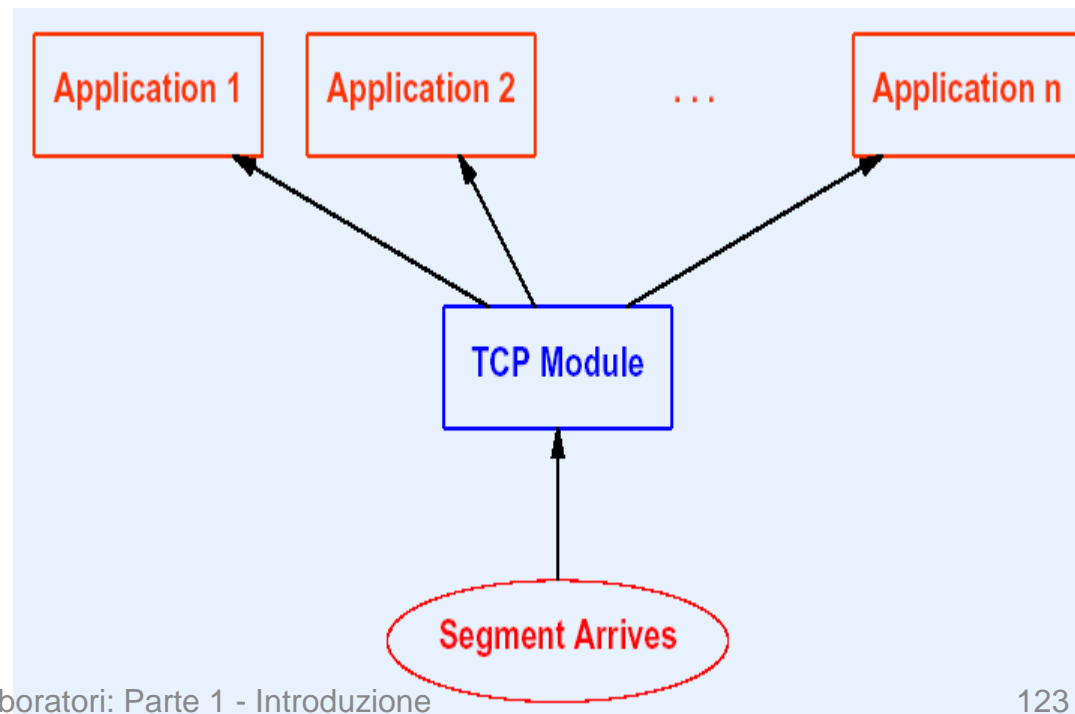
- la trama ethernet può essere usata da IP, da CLNP (quello OSI), ARP, RARP, ...
- il pacchetto IP può essere usato da TCP, da ICMP, da UDP, ...
- TCP può essere usato da applicazioni diverse .../.



Multiplexing e Demultiplexing (4)

Esempi di demultiplexing

- Il driver di ethernet consegna la trama al protocollo giusto basandosi su **frame type**
- IP consegna il pacchetto al protocollo giusto usando il campo PROTOCOL del proprio header
- TCP consegna il messaggio all'applicazione giusta, basandosi sul campo **porta**



Sommario

- Cosa è Internet ?
- Cosa è un protocollo?
- La network edge, gli host, le reti di accesso, i mezzi fisici di comunicazione
- La network core: commutazione di pacchetto/commutazione di circuito, la struttura di Internet
- Le prestazioni della rete: perdita di pacchetti, ritardi, throughput
- L'organizzazione a livelli dei protocolli, i modelli di servizi
- **La sicurezza**
- Una (breve) storia di Internet

La sicurezza: reti sotto attacco

- Internet è uno strumento importantissimo per molte istituzioni, grandi e piccole imprese, pubblica amministrazione (in alcuni casi è indispensabile)
- Esiste un "lato oscuro" che condiziona l'utilizzo della rete: **la sicurezza**
 - Internet non è stata concepita per essere "sicura". La visione originale (che ha condizionato e condiziona pesantemente gli usi attuali) era quella di una rete utilizzata da un gruppo di **trusted user** connessi ad una rete **trasparente**
- Sicurezza di rete: si occupa di come i malintenzionati possano *attaccare le reti di calcolatori* o del modo in cui possiamo *difenderle* e *progettare nuove architetture* che siano immuni da attacchi
 - **Malware** (contenuti "cattivi" che possono penetrare nei nostri dispositivi e infettarli) installati sugli host tramite Internet
 - **Virus** → **malware** che richiedono una qualche forma di interazione con l'utente per infettarne il dispositivo
 - **Worm** → **malware** che possono entrare in un dispositivo senza alcuna interazione esplicita con l'utente
 - ...

La sicurezza: reti sotto attacco

(II)

- **Malware** = termine generico per identificare programmi che hanno lo scopo di danneggiare il dispositivo/i dispositivi e l'infrastruttura di rete
 - **virus**: programma auto-replicante (come un'infezione) che si propaga attraverso la ricezione ed esecuzione di programmi malevoli (es. via e-mail attachment)
 - **worm**: programma auto-replicante che si propaga senza un'esplicita esecuzione (di solito sfruttano dei punti deboli dei sistemi) e si "auto-esegue" sull'host infettato per poter propagare l'infezione
 - **Spyware malware**: possono registrare "sequenze di tasti schiacciati", siti web visitati, e possono inviare, all'insaputa dell'utente infettato, le informazioni collezionate
- Gli host infettati possono essere organizzati in **botnet** che a loro volta possono essere usate per attacchi di tipo DDoS, oppure come sorgenti di spam ...

La sicurezza: reti sotto attacco

(III)

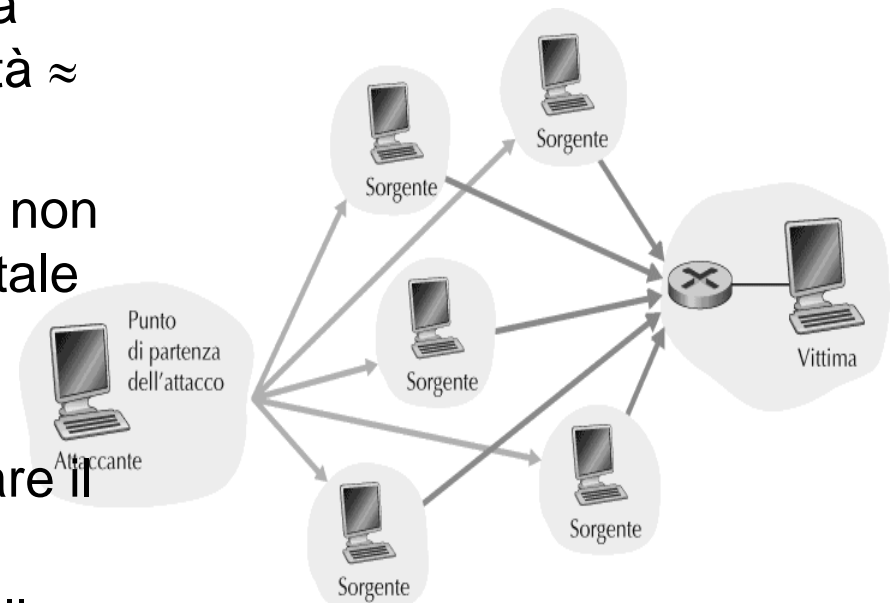
Attacchi ai server e all'infrastruttura di rete

- **Attacchi alla vulnerabilità dei sistemi.**
 - Invio di pochi messaggi ma ben costruiti verso un sistema: lo può rendere inutilizzabile
- **Attacchi di negazione del servizio** (DoS, *denial-of-service*) → rendono inutilizzabile dagli utenti legittimi una rete, un host o un'altra parte di infrastruttura (Server web, server di posta elettronica, DNS, ecc.)
 - **Bandwidth flooding.**
 - L'attaccante invia un "diluvio" di pacchetti all'host oggetto dell'attacco (così tanti da rendere il suo collegamento di accesso inutilizzabile)
 - **Connection flooding.**
 - L'attaccante stabilisce un grande numero di connessioni TCP (complete o solo parziali) verso l'host oggetto dell'attacco

La sicurezza: reti sotto attacco

(IV)

- Se la velocità della rete di accesso ad un server è pari a R bps un attaccante avrà bisogno di inviare traffico ad una velocità \approx di R bps per causare danni
 - Se R è grande una sola sorgente può non essere in grado di generare traffico a tale velocità
 - Nel caso di una singola sorgente potrebbe essere più agevole identificare il traffico malevolo e bloccarlo)
- Attacco distribuito: un attaccante controlla più sorgenti e ciascuna attacca il bersaglio inviando del traffico
- Gli attacchi DDoS sono piuttosto comuni



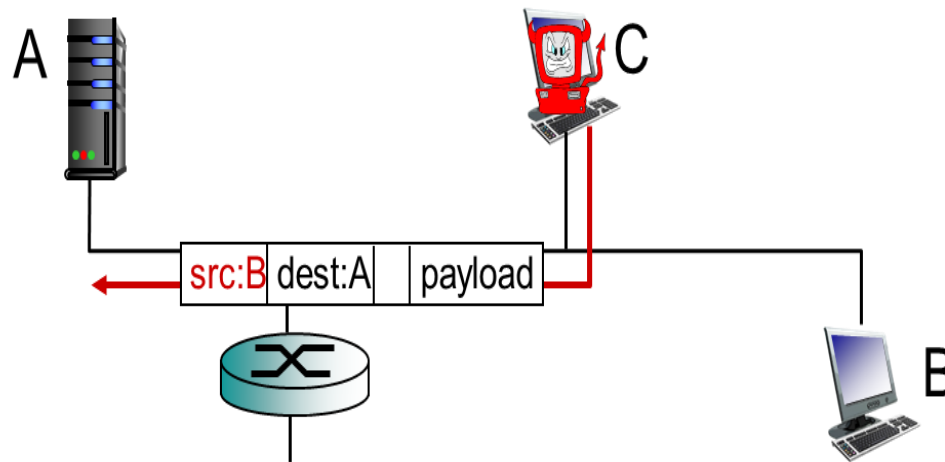
La sicurezza: reti sotto attacco (V)

- Analisi del traffico
 - Packet sniffer: ricevitore passivo che memorizza (cattura) copie dei pacchetti trasmessi
 - Vengono usati sia in ambiente wireless (più agevole data la natura condivisa del mezzo di accesso) e sia in ambiente cablato
- I pacchetti raccolti possono essere utilizzati per recuperare informazioni "sensibili" (es. password, credenziali di accesso, num. carte di credito, ecc.)
- Contromisure contro i packet sniffer: cifratura pacchetti (o parti di essi)

Nota: i packet sniffer sono in genere utili per scoprire le caratteristiche del traffico di rete e le sue anomalie (anche in questo corso verrà utilizzato un software simile)

La sicurezza: reti sotto attacco (VI)

IP spoofing → capacità di immettere pacchetti in Internet con un indirizzo sorgente falso



Contromisure:

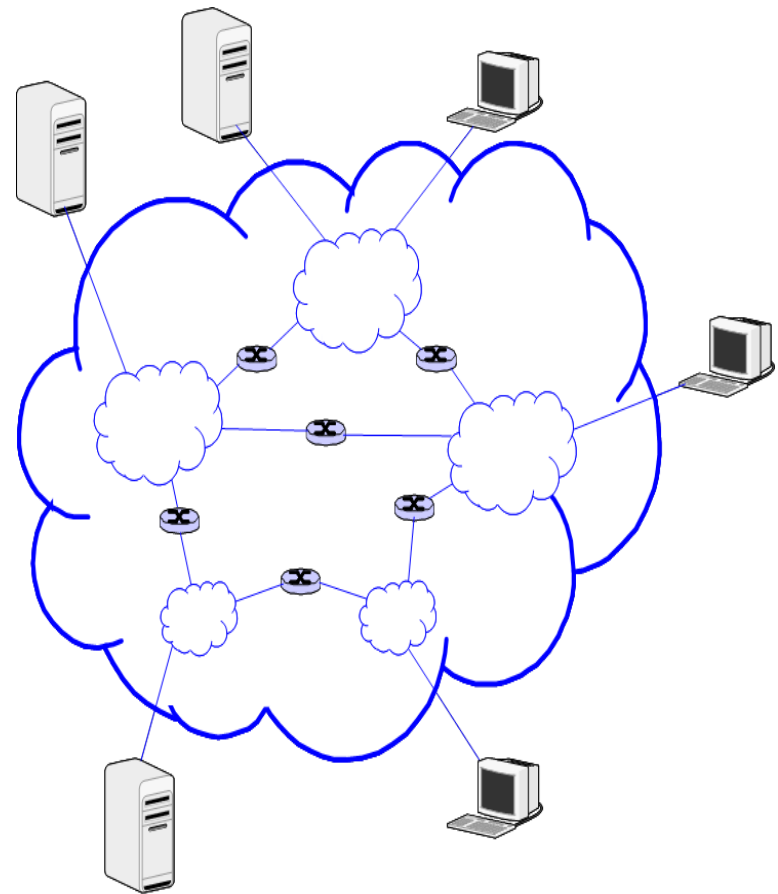
- Autenticare il punto di accesso,
- Determinare con certezza se il messaggio ha avuto origine dove supponiamo oppure si tratta di un falso
- I router devono inoltrare solo messaggi la cui origine è "corretta"

Sommario

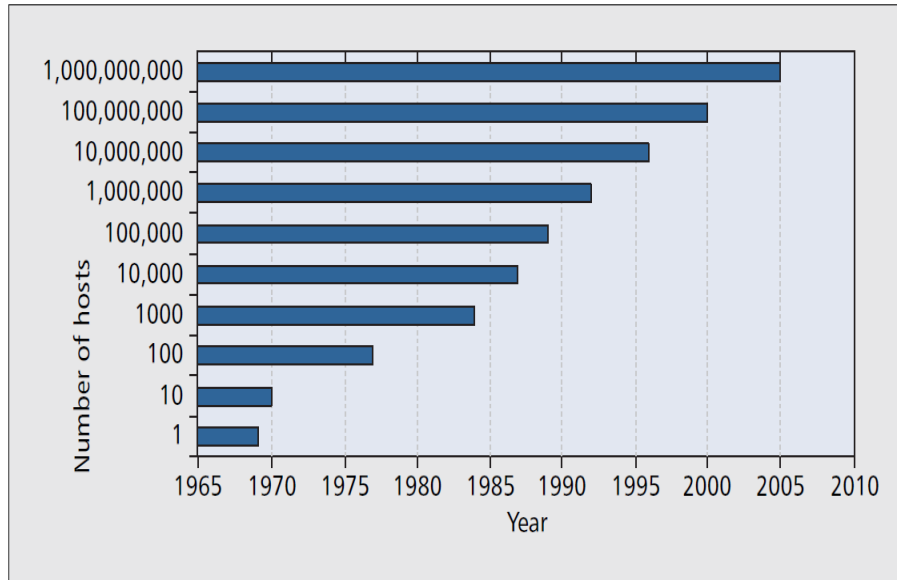
- Cosa è Internet ?
- Cosa è un protocollo?
- La network edge, gli host, le reti di accesso, i mezzi fisici di comunicazione
- La network core: commutazione di pacchetto/commutazione di circuito, la struttura di Internet
- Le prestazioni della rete: perdita di pacchetti, ritardi, throughput
- L'organizzazione a livelli dei protocolli, i modelli di servizi
- La sicurezza
- Una (breve) storia di Internet

Una (breve) storia di Internet

- Tecnologia capace di interconnettere reti diverse
 - devono essere solo in grado di trasmettere pacchetti
- Internet è **Multivendor**
- **Internet** è un'architettura aperta (i protocolli sono pubblici)
- Trasparente rispetto agli utenti (ed alle applicazioni) che non percepiscono i dettagli della rete
- Fornisce una connettività universale (tra ogni computer della rete)
- È strutturata in un insieme di protocolli organizzati gerarchicamente (TCP/IP)



Una (breve) storia di Internet (II)



Anni impiegati per 50 milioni di utenti	
Radio	38
Televisione	13
TV via cavo	10
WWW/Internet	5

Come siamo arrivati a questo punto
?

Correva l'anno 1957 ...



- Era stato denominato International Geophysical Year
- Il presidente Eisenhower aveva annunciato nel 1955 che nel 1957 gli USA avrebbero tentato di lanciare un piccolo satellite artificiale in orbita terrestre, ma ...
- In Unione Sovietica stavano lavorando ad un progetto simile e il 4 ottobre 1957, dal cosmodromo di Baikonur lanciarono lo **Sputnik 1** (in cirillico **Спутник**, *Compagno di viaggio*): il primo satellite artificiale
- L'evento provocò uno shock enorme nell'opinione pubblica e negli ambienti governativi USA. Era l'epoca della guerra fredda e l'interrogativo era: "*Oggi lo Sputnik, e domani ?*"

Internet: le premesse

- **1958.** Il governo degli USA creò la Advanced Research Project Agency (ARPA), alle dipendenze del Ministero della Difesa (DOD), e la NASA
 - Scopo: applicare "il meglio della tecnologia" alla difesa degli USA
- Il campo di azione della ARPA inizialmente era rivolto a campi quali tecnologia aereo-spaziale, missilistica/balistica, controllo di test nucleari (era controllata dal Ministero della Difesa)
- Con il passare del tempo l'ARPA si interessò anche di problematiche di comunicazioni tra basi operative e varie sedi
 - Importanza di comunicazioni "sicure" tra nodi
- **Bisogna sottolineare che l'ARPA non finanziava solamente ricerca applicata ma anche ricerca di base le cui ricadute non erano immediate!**

Internet: tre filoni di ricerca indipendenti

Tra la fine degli anni '50 e la metà degli anni '60 maturarono (in modo indipendente) le idee di base della **commutazione a pacchetto**, di una rete con **controllo decentralizzato**, e altro

- 1) Rand - Paul Baran
- 2) MIT/UCLA - Leonard Kleinrock
- 3) NPL - Donald Davies

D: Cosa permise di unificare queste idee?

R: Un'idea visionaria !

Le intuizioni di Licklider



Joseph Carl Robnett Licklider
1915 - 1990

- Il contributo di J. C. R. Licklider allo sviluppo di Internet consiste più di idee che non di invenzioni
- L'ARPA era strutturata in sezioni una di queste, l'IPTO (Information Processing Techniques Office, si occupava di finanziare la ricerca in campo informatico
- Le innovative visioni di Licklider vennero raccolte in un saggio "Man-Computer Symbiosis" che ha avuto una grandissima influenza su tanti psicologi e studiosi di informatica
- Licklider era professore al MIT e nel 1962 divenne il primo direttore dell'IPTO. Venne messo a capo di un gruppo di lavoro da lui denominato *Intergalactic Computer Network* al quale indirizza un memorandum nel 1963 che rappresenta la base concettuale di ciò che sarebbe diventata la rete Arpanet
 - una rete di computer in grado di collegare tutti gli utenti ad un universo di informazioni
- Rimase all'IPTO fino al 1965 ma le sue idee rivoluzionarie non lasciarono l'ARPA

Arpanet: si parte

- **1968.** Roberts (ARPA) preparò un progetto di una rete di computer che permettesse ai ricercatori di **usare computer da remoto (login remoto)**
- **Lo scopo era quindi quello di permettere la condivisione delle preziose risorse di calcolo dei primi computer (molto costosi)**
- Il progetto viene approvato dal management dell'ARPA
 - **Nota:** è leggenda che fosse una rete militare, all'inizio con c'era nulla di militare
- Il contratto da 1 milione di dollari fu stipulato con la Bolt Beranek e Newman (BBN) di Cambridge, Ma, per la realizzazione di Interface Message Processors (una sorta di router)
- Le sedi prescelte per il primo collegamento furono la University of California a Los Angeles (UCLA) e lo Stanford Research Institute (SRI)

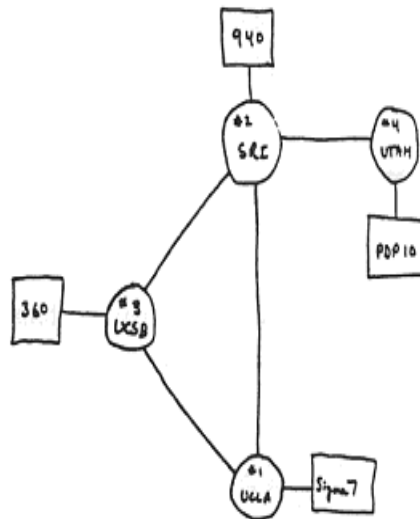
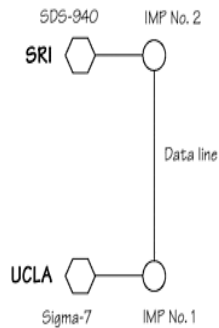
Arpanet: 29 Ottobre 1969

- Il 2 settembre del 1969 l'IMP numero 1 arriva ad UCLA
 - Il primo IMP era un computer (costruito modificando ed adattando un Honeywell DDP-516) senza hard disk e senza floppy con soli 12K di memoria centrale. Il sistema operativo per il funzionamento occupava più di mezzo miglio di nastro di carta perforato
 - Venne collegato ad un mainframe SDS Sigma-7
 - In ottobre la BBN consegna l'IMP numero 2 al SRI dove viene collegato ad un SDS-940
 - Il collegamento tra i due IMP aveva una velocità di 50 kb/s (praticamente quella di un modem telefonico)
- Il 29 ottobre 1969 alle 10.30 fu tentato il primo collegamento della rete Arpanet tra UCLA e SRI. Lo scopo era quello di un login remoto (collegamento da UCLA al computer di SRI)
 - La prima parola che doveva essere spedita era **login**
 - Al primo tentativo riuscì solo la spedizione di **lo** alla lettera **g** il sistema ebbe un crash
 - Dopo qualche ora il problema venne risolto ed il collegamento riuscì

Arpanet: 29 Ottobre 1969

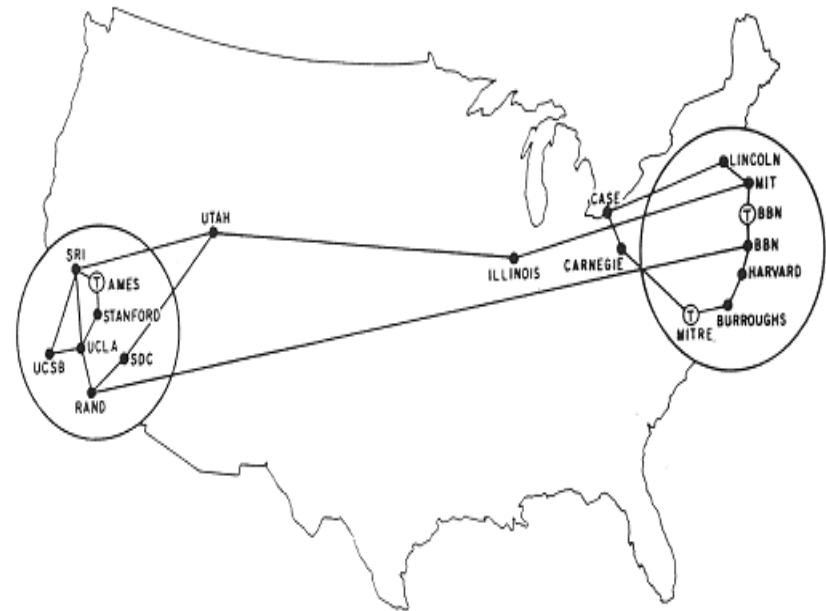
era nata la rete

Arpanet: i primi vagiti



THE ARPA NETWORK

DEC 1969



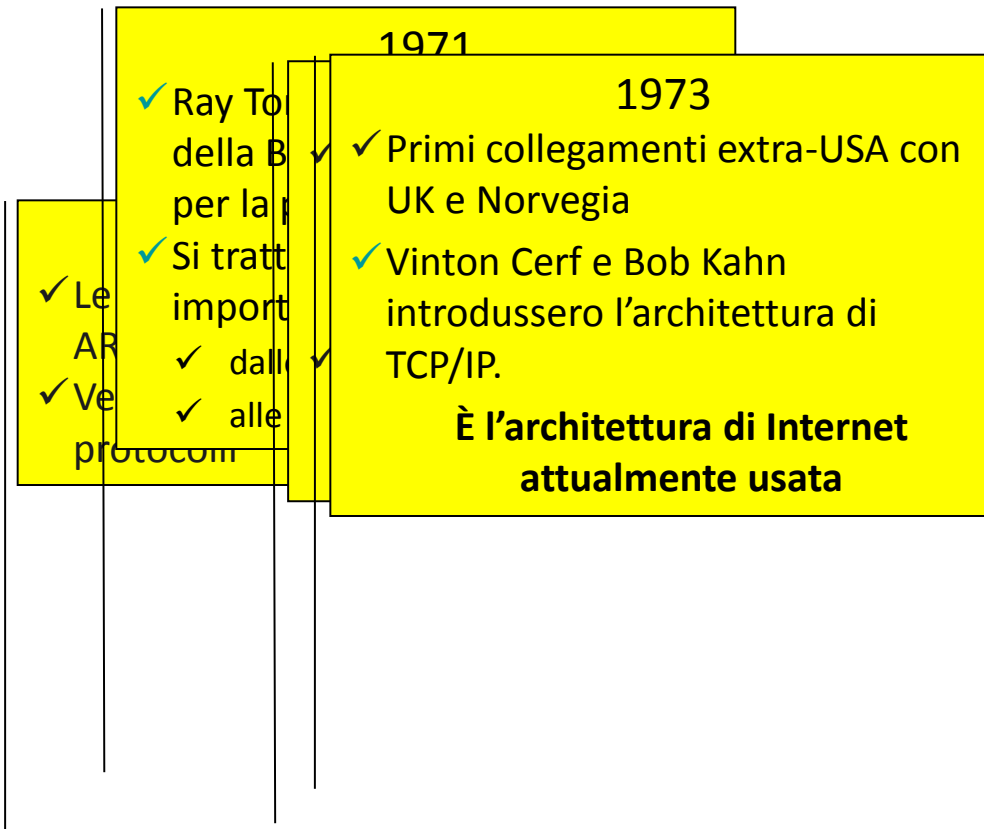
MAP 4 September 1971

Notare la natura delle istituzioni connesse
Sono università e non centri militari!!!
I siti militari furono collegati solo successivamente

Considerazioni/riflessioni

- I vari team che hanno portato alla creazione di Arpanet erano animati da spirito di collaborazione, apertura mentale, flessibilità, forte senso della comunità
 - Il controllo della rete e del suo sviluppo doveva rimanere nelle mani degli utilizzatori (non in quelle degli operatori o delle imprese)
 - Le gratificazioni provenivano dalla sensazione di sviluppare creativamente qualcosa di utile per gli altri
 - Stile molto informale
 - I documenti dove venivano (e tutt'ora vengono) descritti i protocolli ed il loro funzionamento sono i Request for Comments (RFC). **Questi documenti sono rigorosamente pubblici!**
 - Lo spirito informale pervade anche lo stile con cui questi documenti sono scritti
 - Il primo RFC intitolato "Host Software" RFC n. 1 venne scritto dal Steve Crocker (del gruppo di ricerca di Kleinrock) nel bagno della casa che condivideva con altri studenti
- ✓ Il 1969 fu un anno importante
 - ✓ 21 Luglio 1969 sbarco sulla luna
 - ✓ 15 -18 Agosto festival di Woodstock
 - ✓ 29 ottobre 1969 nascita di Internet

Lo sviluppo della rete



Data	Numero host
1969	4
1971 - Aprile	23
1974 - Giugno	62
1977 Marzo	111
1981 - Agosto	213
1982 - Maggio	235
1983 - Agosto	562
1984 - Ottobre	1.024
1985 - Ottobre	1.961
1986 - Febbraio	2.308
1986 - Novembre	5.089
1987 - Dicembre	28.174
1988 - Luglio	33.000
1988 - Ottobre	56.000
1989 - Luglio	130.000
1989 - Ottobre	159.000

Internet diventa ... Internet

- Internet fino alla fine degli anni '80 era "una cosa da specialisti"
- I comandi per accedere e per trovare dati erano complicati (a volte anche per gli addetti ai lavori)
- La documentazione disponibile era di tipo scientifico e quindi non adatta ad un pubblico di non-specialisti
- Le attrattive maggiori erano rappresentate dalla posta elettronica, dai newsgroup, e dai meccanismi per "chat" e giochi
- Lo sviluppo commerciale di Internet era iniziato ma la sua espansione era sotto il controllo di enti governativi e accademici (e la presenza di siti militari sulla rete era un problema)
- Nel 1989 il numero di host ~ 100.000 e l'anno seguente raggiunse i 300.000

Il World Wide Web



- Il WWW può essere visto come una rete di siti nei quali è possibile ricercare e reperire documenti mediante il protocollo Hypertext Transfer Protocol (HTTP)
- Il protocollo http è stato ideato per semplificare la scrittura degli indirizzi, la ricerca dei documenti specificati dall'indirizzo ed il recupero di tali documenti
- I concetti basilari del WWW furono progettati nel 1989 da Tim Berners-Lee e da altri ricercatori del CERN (Ginevra)
- Nato per facilitare la ricerca ed il recupero di documenti
- Nel '90 lo stesso gruppo di ricerca ha progettato e sviluppato un programma 'browser/editor' e coniò il nome World Wide Web

Il World Wide Web (II)

- Quale è la differenza tra Internet e il WEB ? Risposta di Tim Berners-Lee:
 - Internet è la rete delle reti fatta di computer e cavi (connessioni). Inoltra pacchetti tra un host sorgente ed un host destinatario
 - Diverse applicazioni utilizzano Internet: la posta elettronica è stata inventata molto tempo prima del WWW. In questi ultimi tempi stiamo assistendo allo sviluppo di programmi/protocolli per applicazioni come streaming audio/video
 - Il WEB in astratto è uno spazio di informazioni. Sulla rete si trovano i vari computer, sul Web si trovano documenti, suoni, immagini, video, ..., informazioni. Sulla rete Internet le connessioni sono rappresentate da cavi (link) tra computer; sul Web le connessioni sono rappresentate da link ipertestuali (hypertext link). Il Web esiste perché esiste Internet e i suoi protocolli. Il Web ha reso utile la rete perché moltissime persone sono interessate al reperimento di informazioni e non ai computer e ai cavi

Il World Wide Web (III)

Pionieri del WWW

- Vannevar Bush (metà anni '40)
- Douglas Engelbart (anni '60) che inventò il termine **hypertext**
- Ted Nelson (fine anni '60 - inizio anni '80)
- e altri ...

Il boom del WWW

- **1993.** Mark Andreessen era uno studente presso il National Center for Supercomputing (NCSA) dell'Università dell'Illinois quando il Web iniziò il suo "percorso". Insieme ad Eric Bina crearono **Mosaic**
- Nel dicembre 1993 Mosaic era diventato così popolare da meritare una copertina della business edition del New York Time (Andreessen e Bina non erano menzionati)
- **1994-1995.** A Palo Alto (Silicon Valley) Andreessen incontrò Jim Clark (ex Silicon Graphics). Clark aveva "fiutato" l'affare e insieme ad Andreessen, ed ad altri creò la Netscape Co ed in pochi mesi realizzarono in browser Netscape
- In pochissimo tempo diventò **lo strumento** per accedere al WWW! Il tutto si propagò come un gigantesco incendio.
- Con Netscape il WWW uscì dai laboratori di ricerca e invase il mondo
- La Netscape fu quotata in borsa nell'agosto del '95
 - In un solo giorno Clark (che aveva investito 5 milioni di dollari) guadagnò 663 milioni di dollari. Era nata la bolla speculativa di Internet!

e dopo il 1995 ...

- Enorme sviluppo del WWW
- Nascita di altre tipologie di applicazioni come Napster, Gnutella, ecc.
- Il **Web 2.0** è un locuzione utilizzata per indicare genericamente uno stato di evoluzione del WWW
 - l'insieme di tutte quelle applicazioni online che permettono uno spiccato livello di interazione sito-utente nel quale **l'utente genera i contenuti fruiti dagli altri utenti** (blog, forum, chat, sistemi quali Wikipedia, YouTube, Facebook, Myspace, ecc.)
- Verso la fine anni degli '90 è nato il fenomeno del peer-to-peer

Il nuovo millennio

Dall'inizio del millennio abbiamo assistito a una sempre maggiore penetrazione dell'accesso a Internet residenziale a larga banda, non solo tramite modem via cavo e DSL, ma anche attraverso la fibra ottica.

Accesso a Internet ad alta velocità → YouTube, Netflix, Skype

L'accesso veloce a Internet → rapida diffusione di computer palmari (iPhone, Android, iPad, ecc.)

Social network → Facebook e Twitter

EC2 di Amazon, l'Application Engine di Google o Azure di Microsoft
→ applicazioni nel "cloud"

Alcuni numeri impressionanti

- Uno studio del 2005 ha stimato in 11,5 miliardi il numero di pagine web presenti nel WWW
- Sempre nel 2005 Yahoo annunciò che il suo motore di ricerca conteneva più di 19,2 miliardi di documenti. Dato che Yahoo non riesce a coprire tutto il WWW è ragionevole pensare che questo numero sia una sotto-stima della dimensione del WWW.

Altre stime danno numeri diversi ma sempre dello stesso ordine di grandezza

Anno	Numero host
2000	72.398.092
2001	109.574.429
2002	147.344.723
2003	171.638.297
2004	233.101.481
2005	317.646.084
2006	394.991.609
2007	433.193.199
2008	541.677.360
2009	625.226.456

... un grazie e ... !

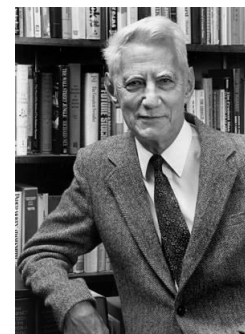


Internet ed il World Wide Web così come li conosciamo oggi sono stati creati da persone brillanti, piene di talento ed iniziativa che erano animati da idee visionarie e rivoluzionarie o che furono ispirati da idee di altre persone piene di talento.

Sebbene le loro idee non sempre furono immediatamente popolari ed apprezzate queste persone hanno continuato a credere nelle loro idee.

Il frutto del loro lavoro e della loro perseveranza è sotto i nostri occhi.

C'è molto da imparare dallo studio dell'opera di queste persone, i loro primi passi, le difficoltà che hanno dovuto affrontare e la loro perseveranza.



...e poi?

matteo.sereno@di.unito.it