

# Capitolo 1

## Introduzione

### Nota per l'utilizzo:

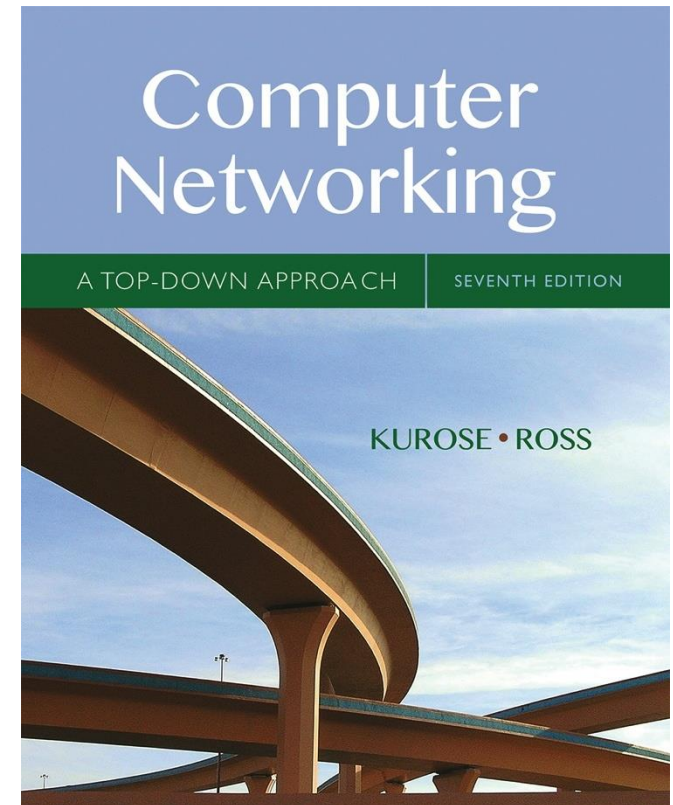
Abbiamo preparato queste slide con l'intenzione di renderle disponibili a tutti (professori, studenti, lettori). Sono in formato PowerPoint in modo che voi possiate aggiungere e cancellare slide (compresa questa) o modificarne il contenuto in base alle vostre esigenze.

Come potete facilmente immaginare, da parte nostra abbiamo fatto *un* sacco di lavoro. In cambio, vi chiediamo solo di rispettare le seguenti condizioni:

- ❑ se utilizzate queste slide (ad esempio, in aula) in una forma sostanzialmente inalterata, fate riferimento alla fonte (dopo tutto, ci piacerebbe che la gente usasse il nostro libro!)
- ❑ se rendete disponibili queste slide in una forma sostanzialmente inalterata su un sito web, indicate che si tratta di un adattamento (o di una copia) delle nostre slide, e inserite la nota relativa al copyright.

*Thanks and enjoy!* JFK/KWR

All material copyright 1996-2016  
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved



*Reti di calcolatori e Internet:  
Un approccio top-down  
Computer Networking: A Top  
Down Approach*

*7ª edizione  
Jim Kurose, Keith Ross*

*Pearson ©2016*

# Capitolo 1: Introduzione

## Obiettivi:

- ❑ introdurre la terminologia e i concetti di base
- ❑ gli approfondimenti arriveranno nei capitoli successivi
- ❑ approccio:
  - ❖ usare Internet come fonte di esempi

## Panoramica:

- ❑ cos'è Internet?
- ❑ cos'è un protocollo?
- ❑ ai confini della rete: host, reti di accesso, mezzi trasmissivi
- ❑ il nucleo della rete: commutazione di circuito e commutazione di pacchetto, struttura di Internet
- ❑ prestazioni: ritardi, perdite e throughput
- ❑ sicurezza
- ❑ livelli di protocollo, modelli di servizio
- ❑ un po' di storia

# Capitolo 1: roadmap

## 1.1 Cos'è Internet?

## 1.2 Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

## 1.3 Il nucleo della rete

- commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete

## 1.4 Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

## 1.5 Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

## 1.6 Reti sotto attacco: la sicurezza

## 1.7 Storia del computer networking e di Internet

# Che cos'è Internet?



PC



server



Portatile



Telefono cellulare



Punti di accesso



Collegam. cablato



router

- Milioni di dispositivi collegati:  
**host = sistema terminale**

- **applicazioni di rete**

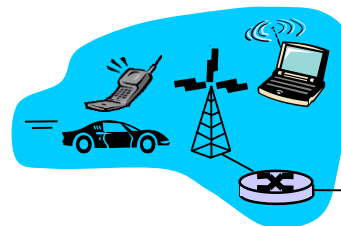
- **collegamenti**

- ❖ rame, fibra ottica, onde elettromagnetiche, satellite

- ❖ Frequenza di trasmissione = **ampiezza di banda**

- **router**: instrada i pacchetti verso la loro destinazione finale

## Rete mobile



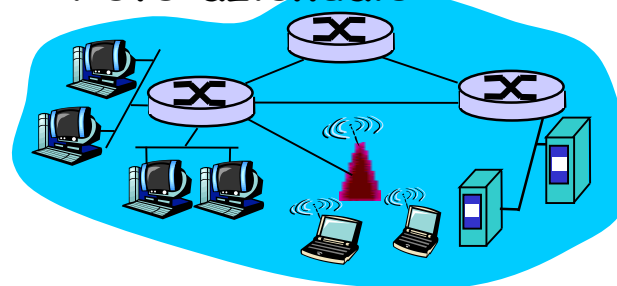
ISP nazionale o internazionale

## Rete domestica



ISP distrettuale

## Rete aziendale



# Oggi Internet è anche...



Cornice IP  
<http://www.ceiva.com/>



Tostapane Web +  
previsioni del tempo



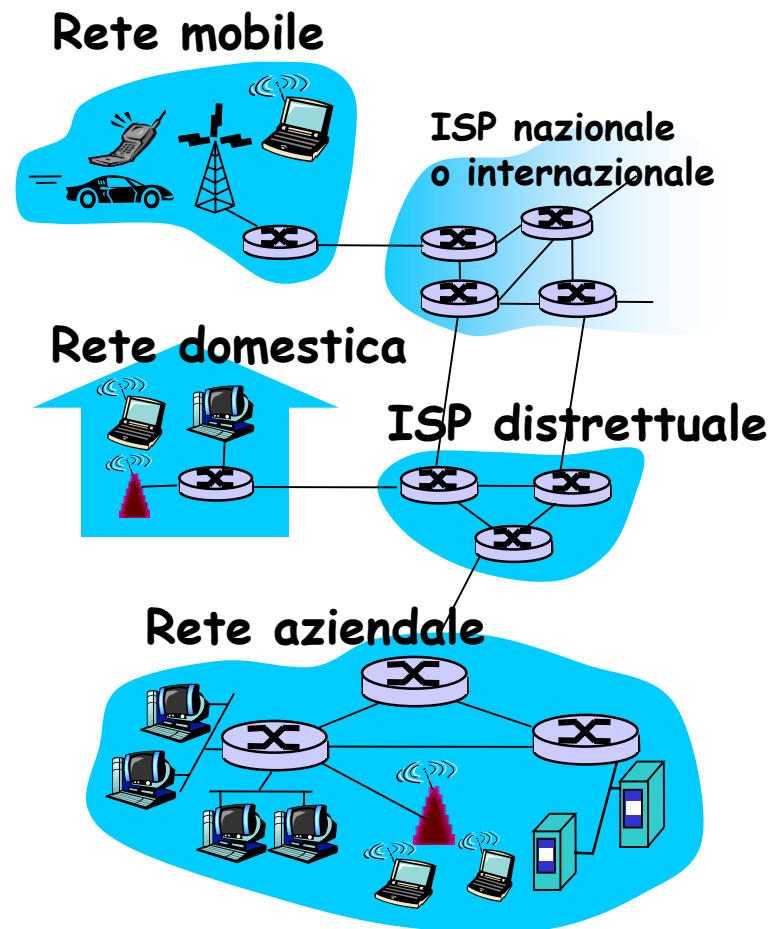
Il web server più piccolo del mondo  
<http://www-ccs.cs.umass.edu/~shri/iPic.html>



Telefonia Internet

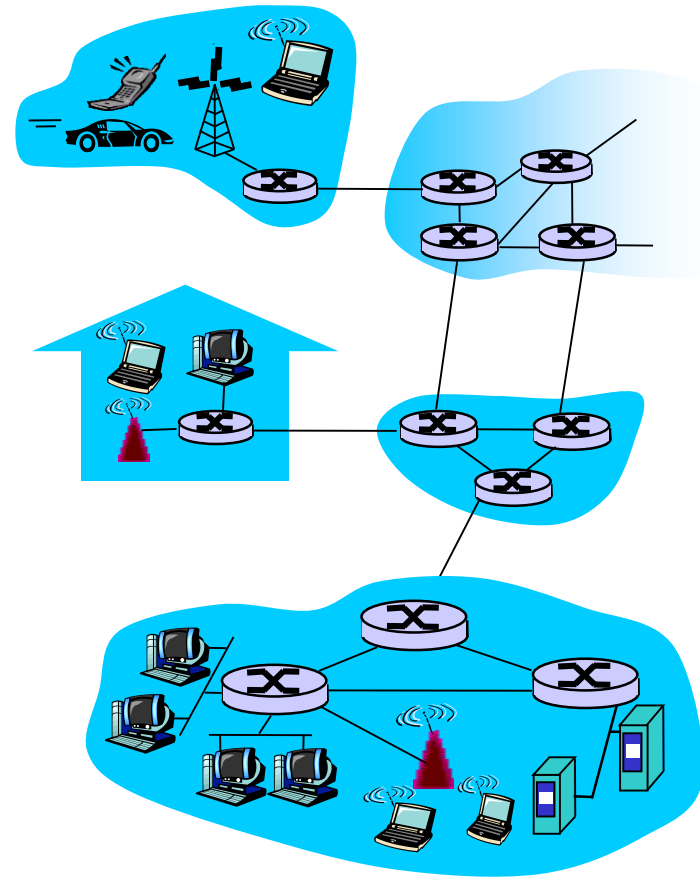
# Che cos'è Internet

- Un **protocollo** definisce il formato e l'ordine dei messaggi scambiati fra due o più entità in comunicazione
  - ❖ es.: TCP, IP, HTTP, Skype, Ethernet
- **Internet: "rete delle reti"**
  - ❖ struttura gerarchica
  - ❖ Internet pubblica e intranet private
- **Standard Internet**
  - ❖ RFC: Request for comments
  - ❖ IETF: Internet Engineering Task Force



# Cos'è Internet

- **Infrastruttura di comunicazione** per applicazioni distribuite:
  - ❖ Web, VoIP, e-mail, giochi, e-commerce, condivisione di file
  
- **Servizi forniti alle applicazioni:**
  - ❖ servizio affidabile dalla sorgente alla destinazione
  - ❖ Servizio "best effort" (non affidabile) senza connessione



# Cos'è un protocollo?

## Protocolli umani:

- ❑ "Che ore sono?"
- ❑ "Ho una domanda"
- ❑ Presentazioni

... invio di specifici messaggi

... quando il messaggio è ricevuto, vengono intraprese specifiche azioni, o si verificano altri eventi

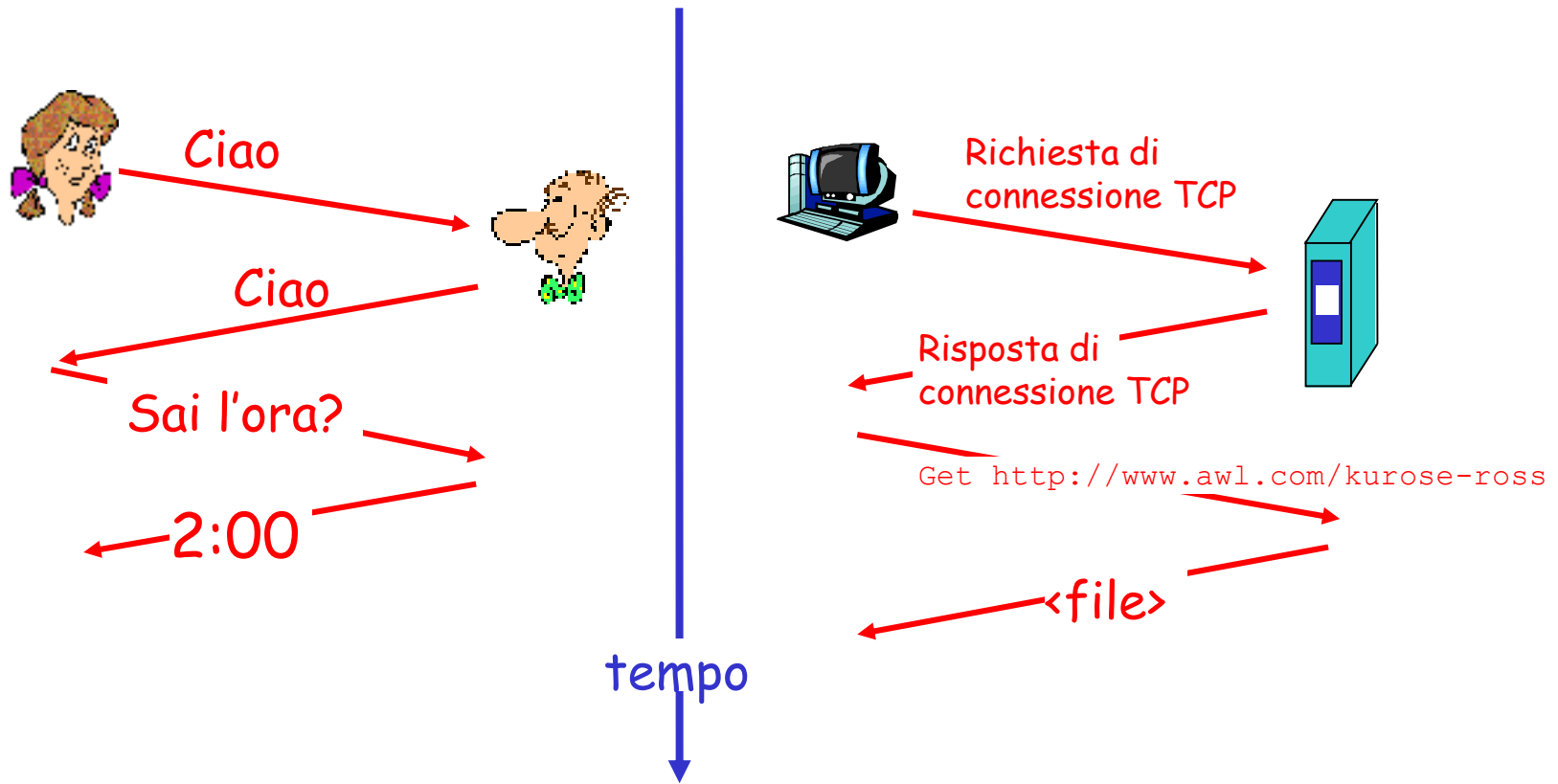
## Protocolli di rete:

- ❑ Dispositivi hardware e software, non umani
- ❑ Tutta l'attività di comunicazione in Internet è governata dai protocolli

*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*

# Cos'è un protocollo?

## Protocollo umano e protocollo di rete



D: Conoscete altri protocolli umani?

# Capitolo 1: roadmap

1.1 Cos'è Internet?

1.2 Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

1.3 Il nucleo della rete

- commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete

1.4 Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

1.5 Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

1.6 Reti sotto attacco: la sicurezza

1.7 Storia del computer networking e di Internet

# Uno sguardo da vicino alla struttura di rete

## ❑ ai confini della rete:

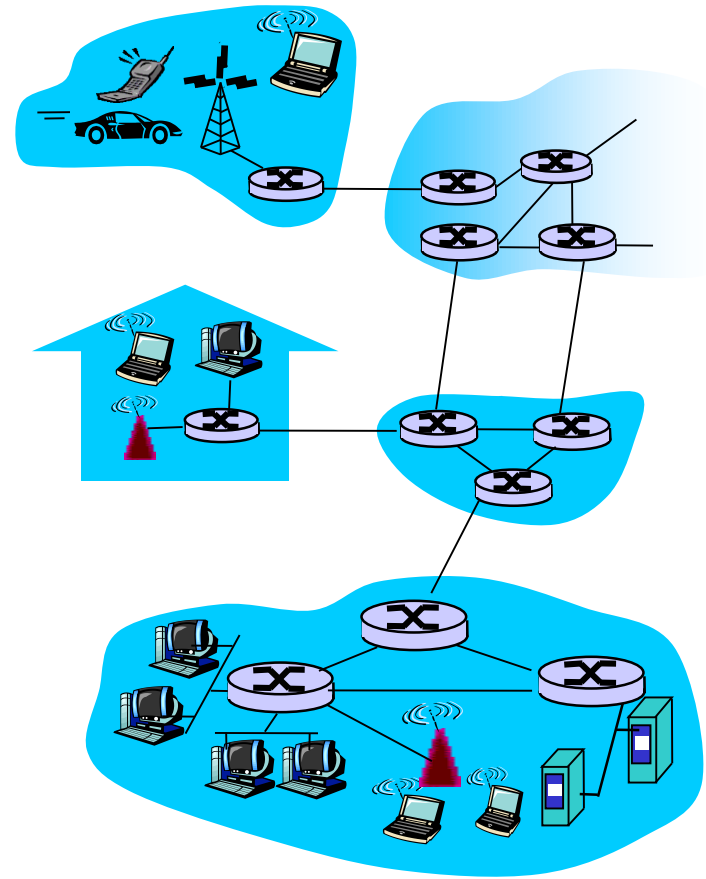
- ❖ applicazioni
- ❖ sistemi terminali

## ❑ reti, dispositivi fisici:

- ❖ collegamenti cablati
- ❖ wireless

## ❑ al centro della rete:

- ❖ router interconnessi
- ❖ la rete delle reti



# Ai confini della rete

## □ sistemi terminali (host):

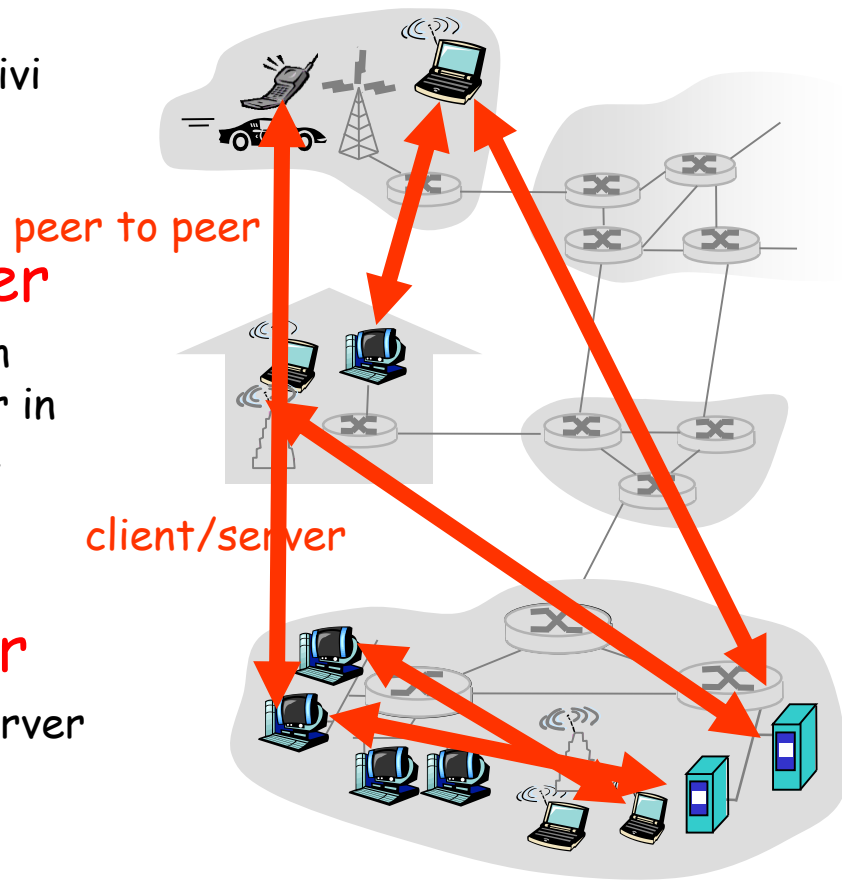
- ❖ fanno girare programmi applicativi
- ❖ es.: Web, e-mail
- ❖ situati all'estremità di Internet

## □ architettura 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

## □ architettura peer to peer

- ❖ uso limitato (o inesistente) di server dedicati
- ❖ es.: Skype, Bit Torrent



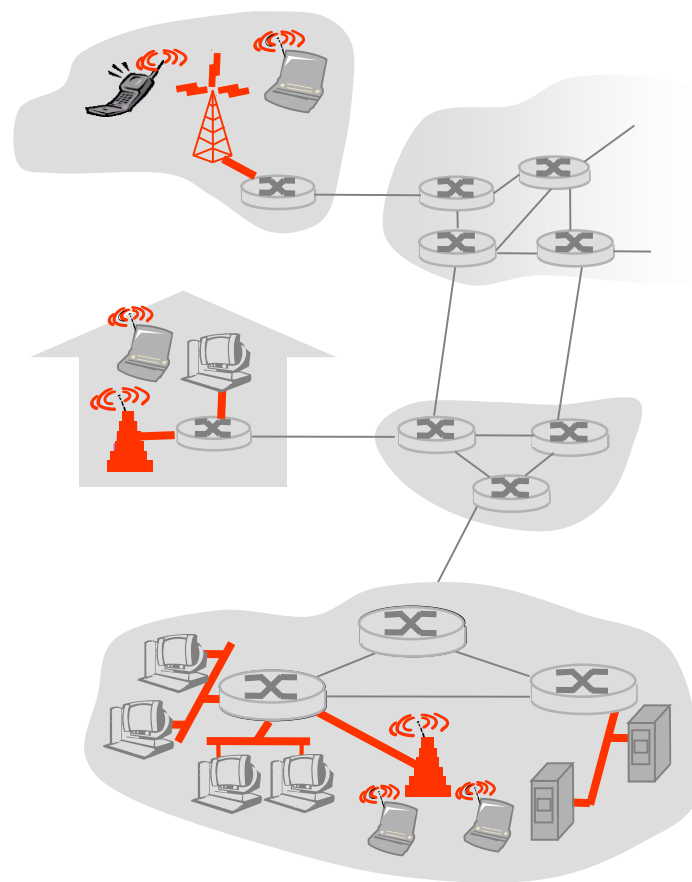
# Reti d'accesso e mezzi fisici

*D: Come collegare sistemi terminali e router esterni?*

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

*Ricordate:*

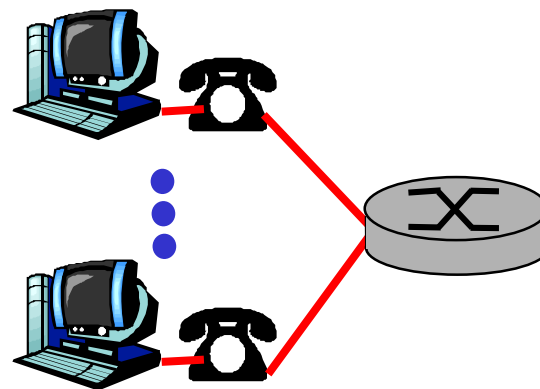
- ❑ ampiezza di banda (bit al secondo)?
- ❑ condivise o dedicate?



# Accesso residenziale: punto-punto

## ❑ Modem dial-up

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



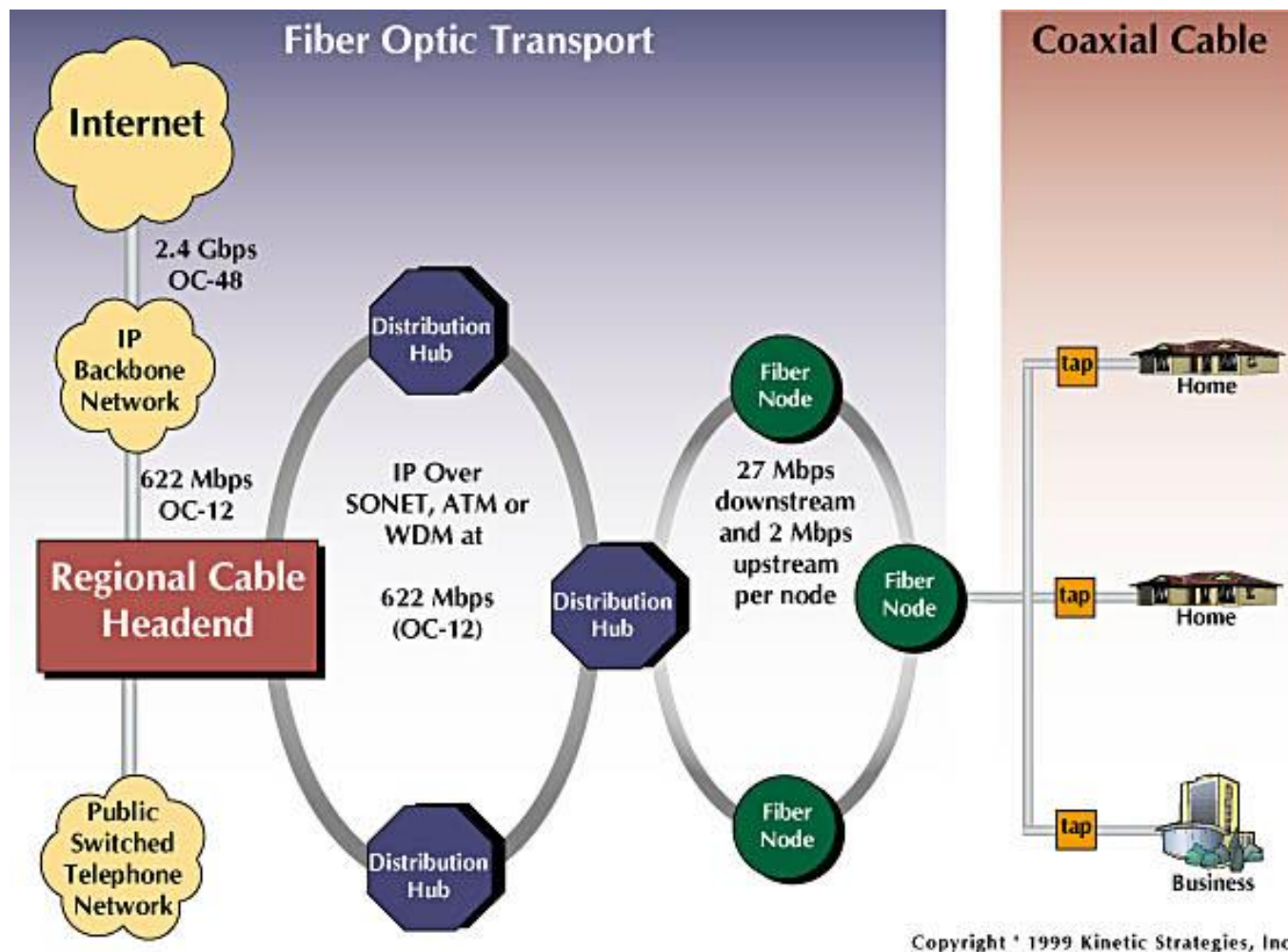
## ❑ DSL: digital subscriber line

- ❖ installazione: in genere da una società telefonica
- ❖ fino a 1 Mbps in upstream (attualmente, in genere < 256 kbps)
- ❖ fino a 8 Mbps in downstream (attualmente, in genere < 1 Mbps)
- ❖ linea dedicata

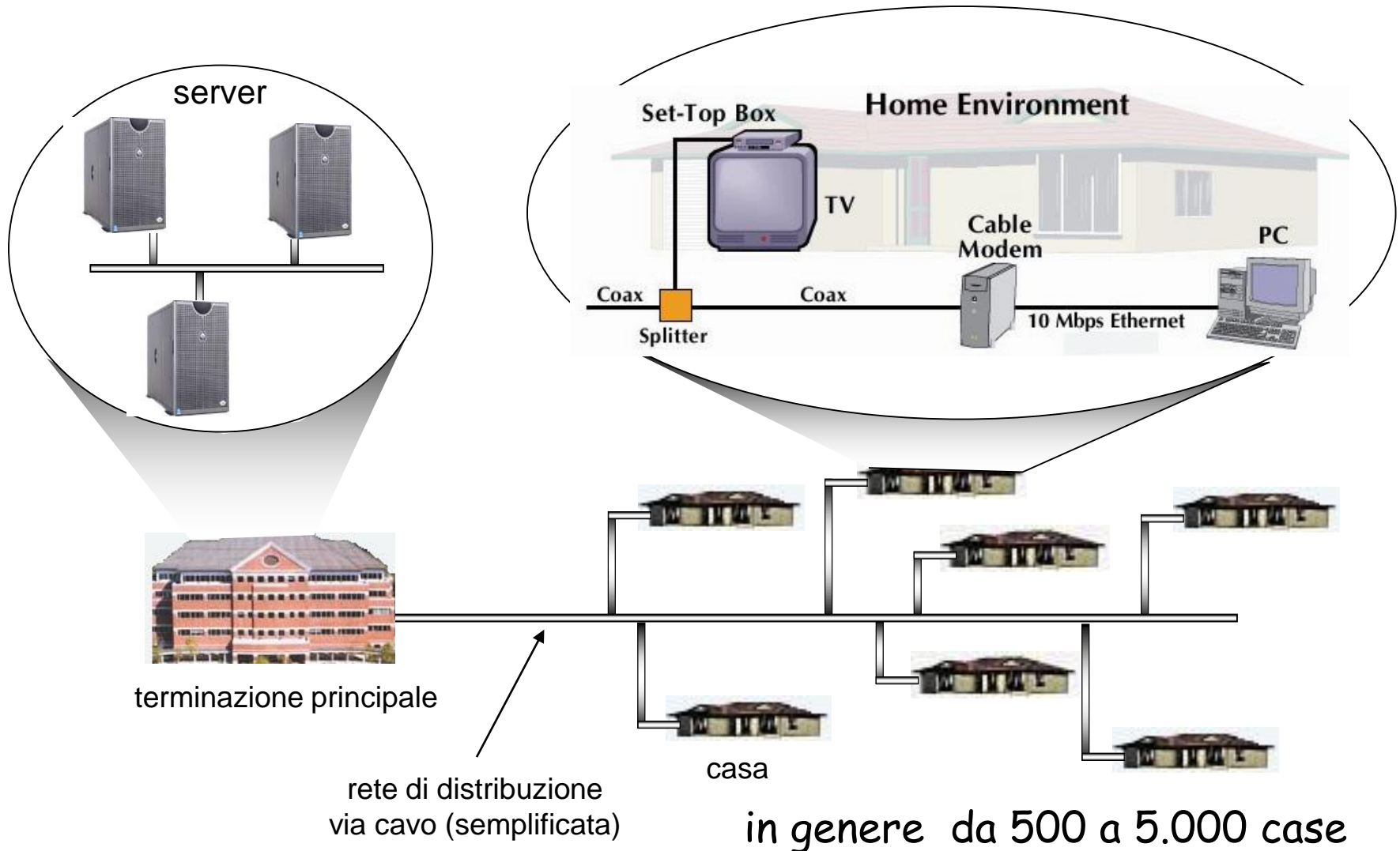
# Accesso residenziale: modem via cavo

- ❑ **HFC: hybrid fiber coax**
  - ❖ asimmetrico: fino a 30 Mbps in downstream, 2 Mbps in upstream
- ❑ **rete** ibrida a fibra e cavo coassiale collega le case ai router degli ISP
  - ❖ l'utenza domestica condivide l'accesso al router
- ❑ **Installazione:** attivata dalle società di TV via cavo

# Accesso residenziale: modem via cavo

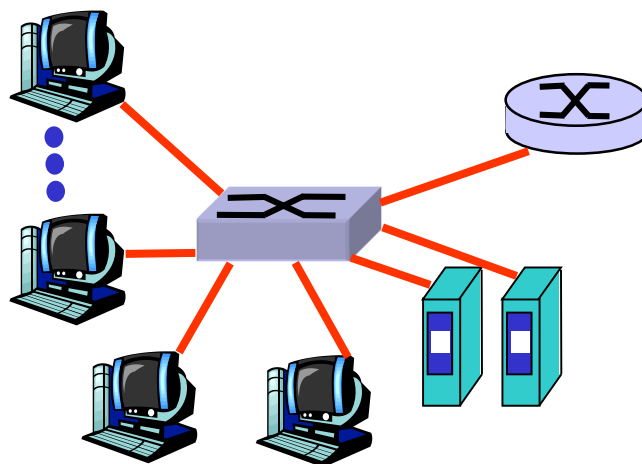
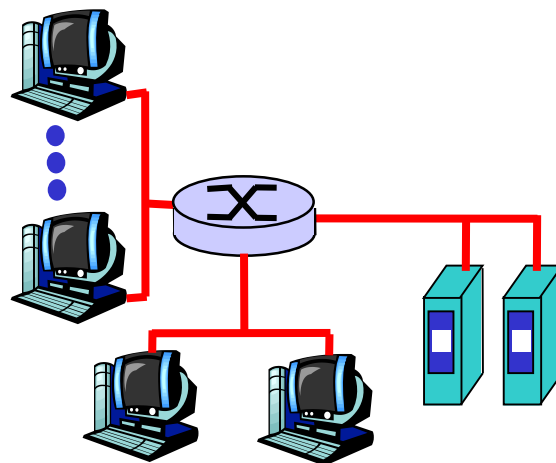


# Rete d'accesso ibrida: una visione d'insieme



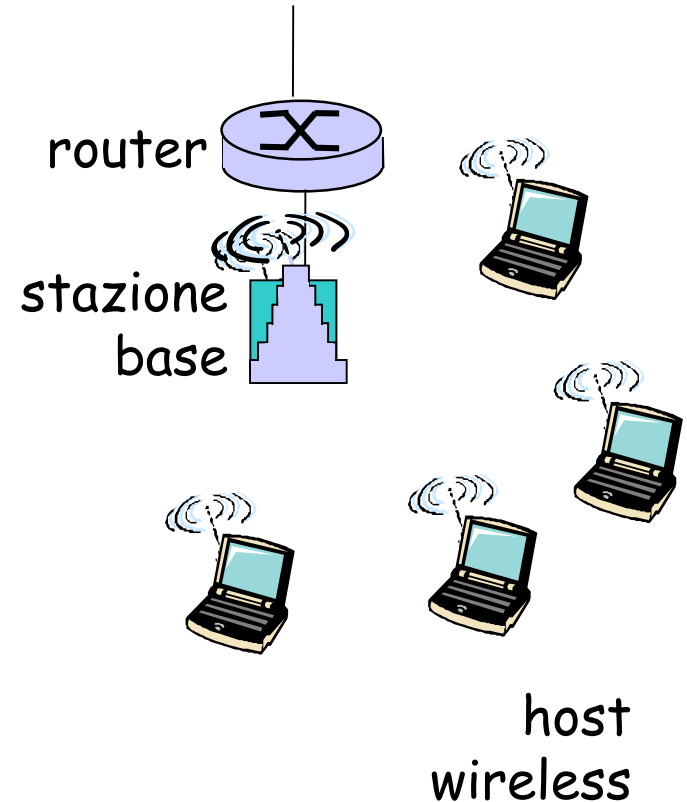
# Accesso aziendale: reti locali (LAN)

- Una LAN collega i sistemi terminali di aziende e università all'edge router
- **Ethernet:**
  - ❖ 10 Mb, 100 Mb, 1 Giga, 10 Giga
  - ❖ Moderna configurazione: sistemi terminali collegati mediante uno switch Ethernet
- Le LAN: Capitolo 5



# Accesso wireless

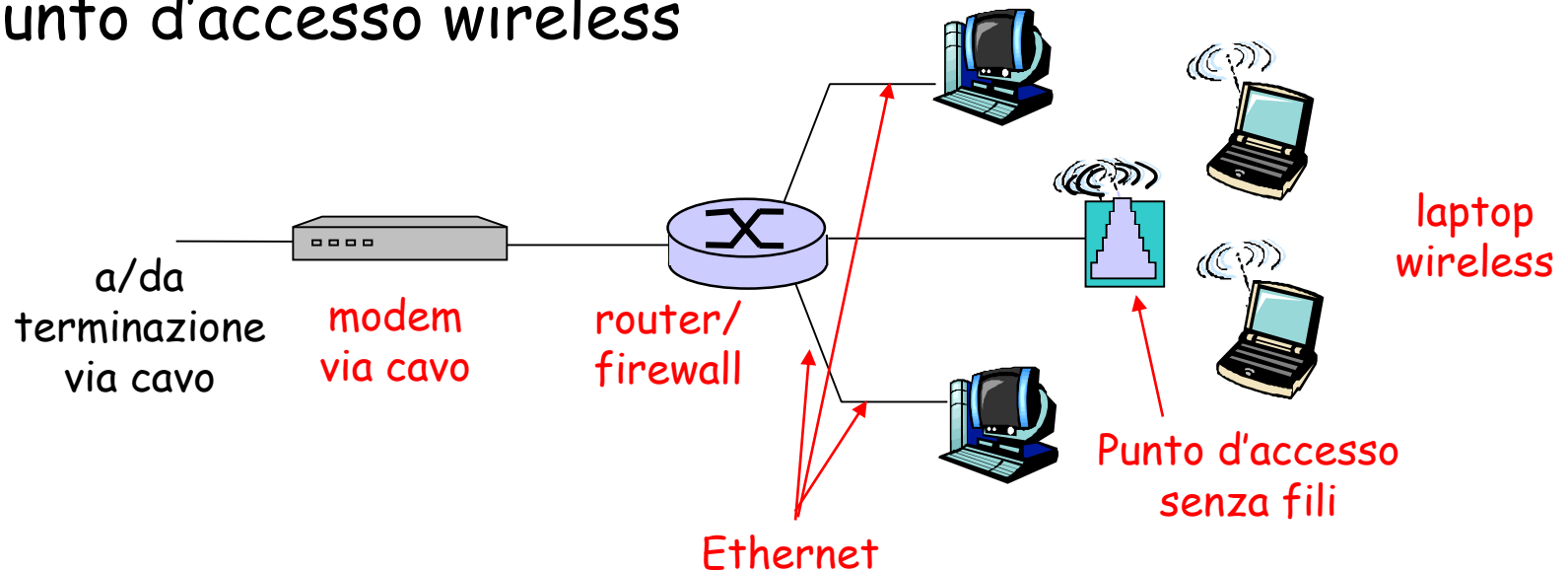
- Una rete condivisa d'accesso *wireless* collega i sistemi terminali al router
  - ❖ attraverso la stazione base, detta anche "access point"
- **LAN wireless:**
  - ❖ Decine di metri
  - ❖ 802.11b/g (WiFi): 11 o 54Mbps
- **Rete d'accesso wireless geografica**
  - ❖ Fino a 10 Km
  - ❖ gestita da un provider di telecomunicazioni
  - ❖ ~ 1 Mbps per i sistemi cellulari (3G)...
  - ❖ 4G, LTE decine di Mbps



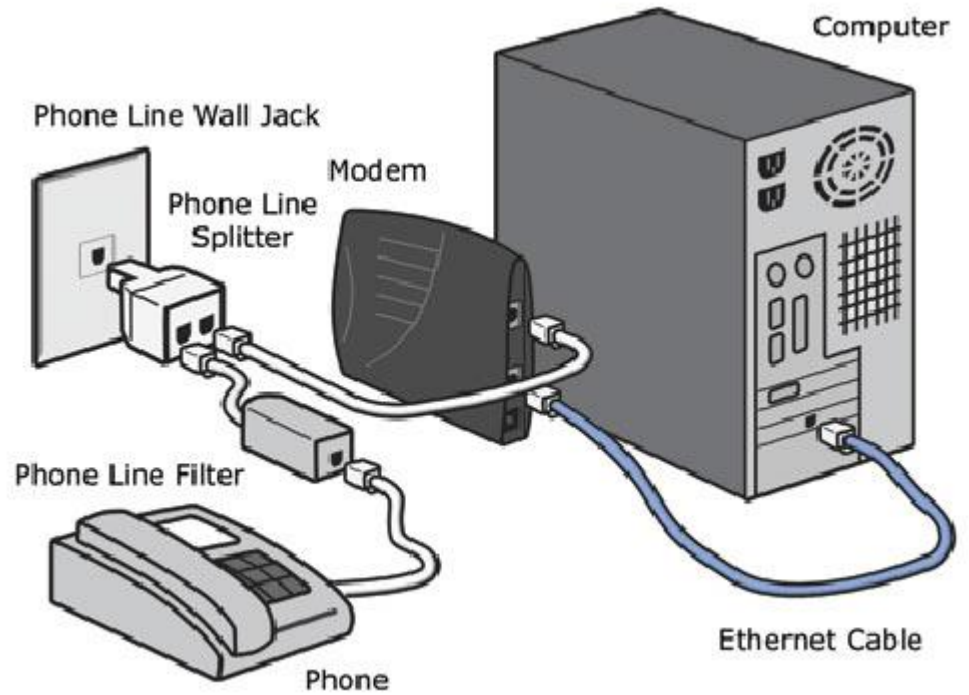
# Reti domestiche

## Componenti di una tipica rete da abitazione:

- ❑ DSL o modem via cavo
- ❑ router/firewall/NAT
- ❑ Ethernet
- ❑ Punto d'accesso wireless

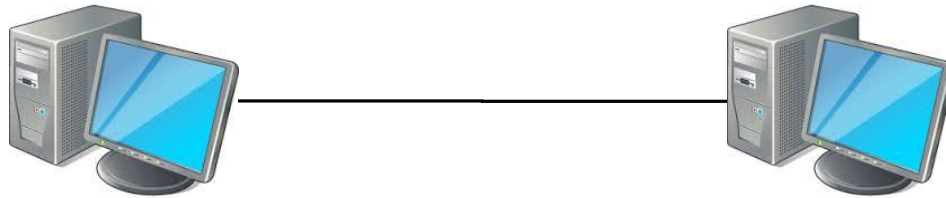


# Reti domestiche

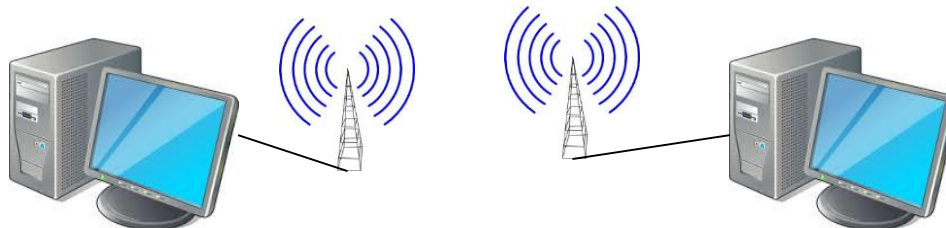


# Mezzi trasmissivi

- ❑ **Bit:** viaggia da un sistema terminale a un altro, passando per una serie di coppie trasmittente-ricevente
- ❑ **Mezzo fisico:** ciò che sta tra il trasmittente e il ricevente
- ❑ **Mezzi guidati:**
  - ❖ i segnali si propagano in un mezzo fisico: fibra ottica, filo di rame o cavo coassiale

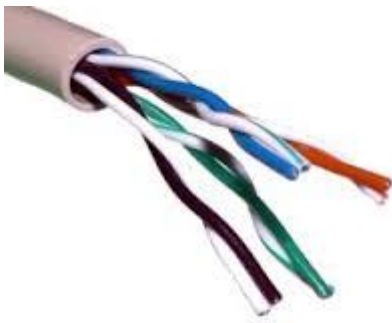


- ❑ **Mezzi a onda libera:**
  - ❖ i segnali si propagano nell'atmosfera e nello spazio esterno



# Mezzi trasmissivi: doppino intrecciato

- Doppino intrecciato (twisted pair - TP): due fili di rame distinti
  - ❖ Categoria 3:
    - tradizionale cavo telefonico
    - 10 Mbps Ethernet
  - ❖ Categoria 5:
    - 100 Mbps Ethernet
  - ❖ Categoria 6a:
    - 10 Gbps Ethernet



# Mezzi trasmissivi: cavo coassiale

- ❑ due conduttori in rame concentrici
- ❑ bidirezionale
- ❑ banda base:
  - ❖ singolo canale sul cavo
  - ❖ legacy Ethernet
- ❑ banda larga:
  - ❖ più canali sul cavo
  - ❖ Hybrid fibre-coaxial (HFC)



# Mezzi trasmissivi: fibra ottica

- ❑ Mezzo sottile e flessibile che conduce impulsi di luce (ciascun impulso rappresenta un bit)
- ❑ Alta frequenza trasmissiva:
  - ❖ Elevata velocità di trasmissione punto-punto (da 10 a 100 Gps)
- ❑ Basso tasso di errore, ripetitori distanziati, immune all'interferenza elettromagnetica



# Mezzi trasmissivi: canali radio

- ❑ trasportano segnali nello spettro elettromagnetico
- ❑ non richiedono l'installazione fisica di cavi
- ❑ bidirezionali
- ❑ effetti dell'ambiente di propagazione:
  - ❖ riflessione
  - ❖ ostruzione da parte di ostacoli
  - ❖ interferenza

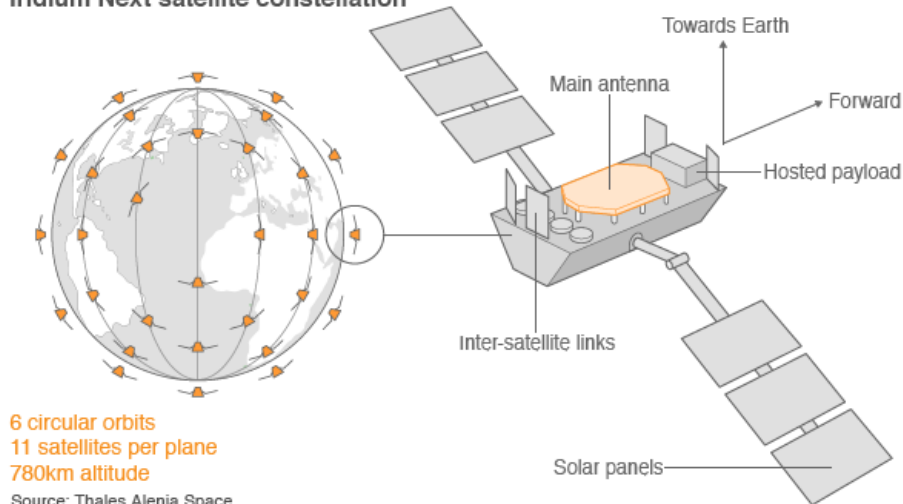
## Tipi di canali radio:

- ❑ **microonde terrestri**
  - ❖ es.: canali fino a 45 Mbps
- ❑ **LAN** (es.: Wifi)
  - ❖ 11 Mbps, 54 Mbps
- ❑ **wide-area** (es.: cellulari)
  - ❖ es.: 3G: ~ 1 Mbps
- ❑ **satellitari**
  - ❖ canali fino a 45 Mbps (o sottomultipli)
  - ❖ geostazionari (Geostationary Earth Orbit GEO)
    - 36000 Km di altezza
    - ritardo di propagazione 270 ms
  - ❖ a bassa quota (low Earth orbit LEO)

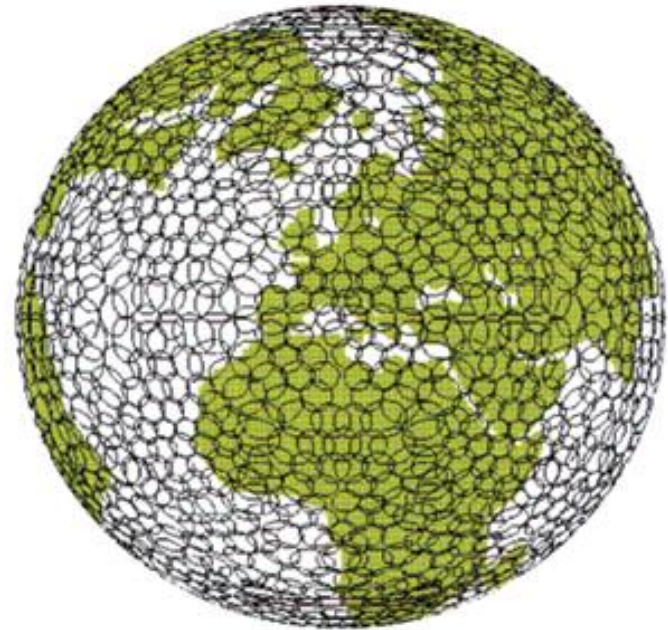
# Satelliti a bassa quota Iridium

- ❑ I satelliti Iridium: 6 orbite intorno alla Terra
  - ❖ Periodo di rivoluzione di circa 90 minuti
- ❑ Ogni satellite copre fino a 48 celle per 1628 celle complessive
- ❑ Ritardo di propagazione 20-25 ms

Iridium Next satellite constellation



6 circular orbits  
11 satellites per plane  
780km altitude  
Source: Thales Alenia Space



# Capitolo 1: roadmap

1.1 Cos'è Internet?

1.2 Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

1.3 Il nucleo della rete

- commutazione di circuito e di pacchetto
- struttura della rete

1.4 Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

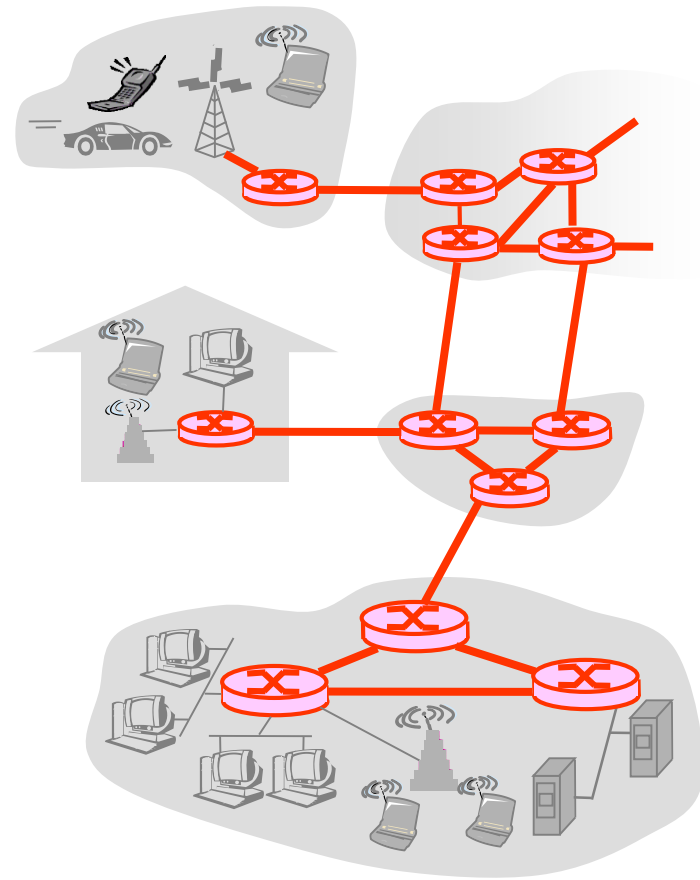
1.5 Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

1.6 Reti sotto attacco: la sicurezza

1.7 Storia del computer networking e di Internet

# Il nucleo della rete

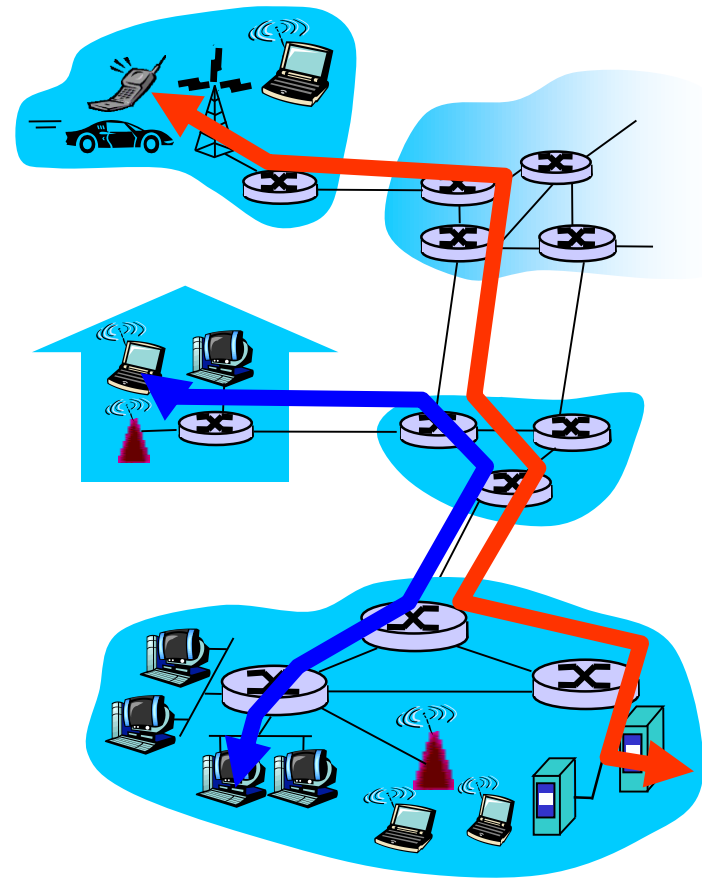
- ❑ Rete magliata di router che interconnettono i sistemi terminali
- ❑ **Il quesito fondamentale:** come vengono trasferiti i dati attraverso la rete?
  - ❖ **commutazione di circuito:** circuito dedicato per l'intera durata della sessione (rete telefonica)
  - ❖ **commutazione di pacchetto:** i messaggi di una sessione utilizzano le risorse su richiesta, e di conseguenza potrebbero dover attendere per accedere a un collegamento



# Il nucleo della rete: commutazione di circuito

## Risorse punto-punto riservate alla "chiamata"

- ❑ ampiezza di banda, capacità del commutatore
- ❑ risorse dedicate: non c'è condivisione
- ❑ prestazioni da circuito (garantite)
- ❑ necessaria l'impostazione della chiamata



# Il nucleo della rete: commutazione di circuito

Risorse di rete (ad es. ampiezza di banda, *bandwidth*) **suddivise in "pezzi"**

- ❑ ciascun "pezzo" viene allocato ai vari collegamenti
- ❑ le risorse rimangono *inattive* se non utilizzate (*non c'è condivisione*)

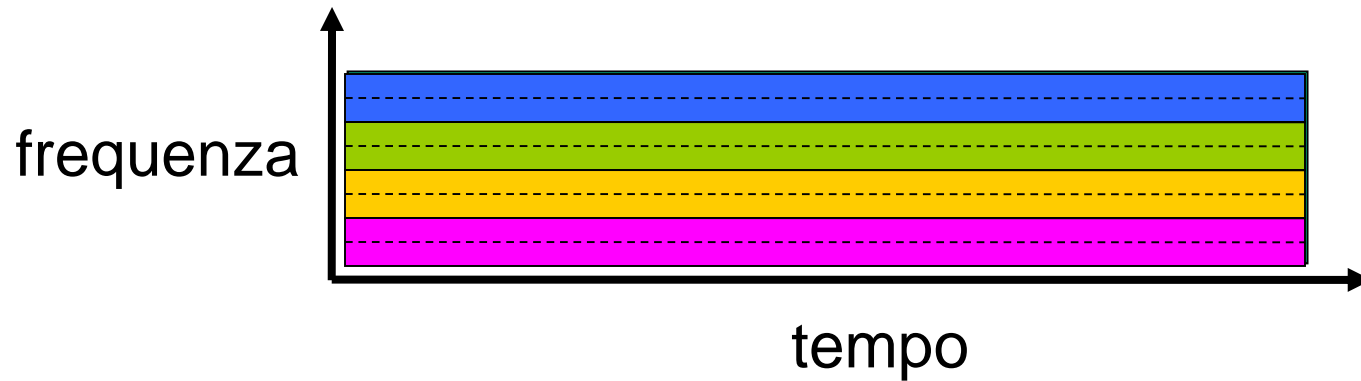
- ❑ suddivisione della banda in "pezzi"
  - ❖ divisione di frequenza
  - ❖ divisione di tempo

# Commutazione di circuito: FDM e TDM

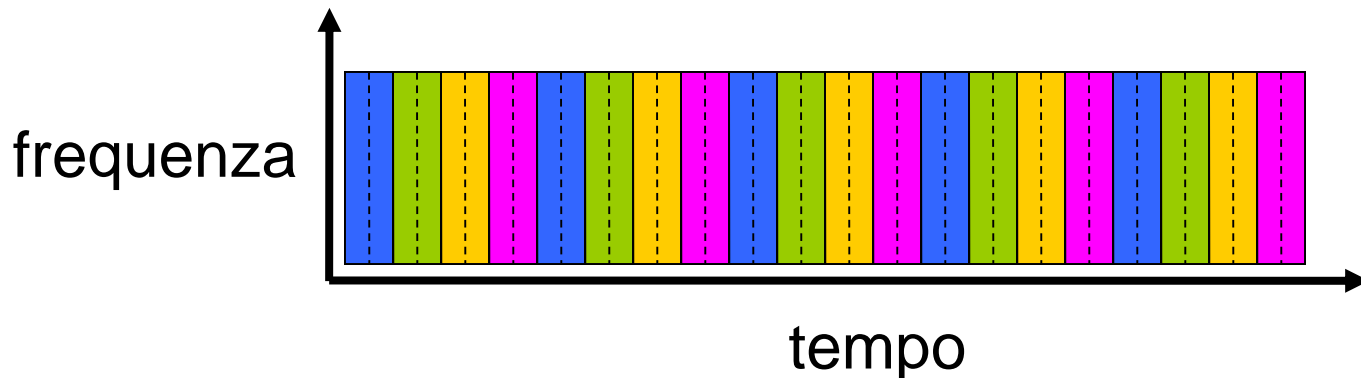
FDM

Esempio:

4 utenti



TDM



# Il nucleo della rete: commutazione di pacchetto

## Il flusso di dati punto-punto viene suddiviso in pacchetti

- ❑ I pacchetti degli utenti A e B condividono le risorse di rete
- ❑ Ciascun pacchetto utilizza completamente il canale
- ❑ Le risorse vengono usate a seconda delle necessità

## Contesa per le risorse

- ❑ La richiesta di risorse può eccedere il quantitativo disponibile
- ❑ **congestione**: accodamento dei pacchetti, attesa per l'utilizzo del collegamento
- ❑ **store and forward**: il commutatore deve ricevere l'intero pacchetto prima di poter cominciare a trasmettere sul collegamento in uscita

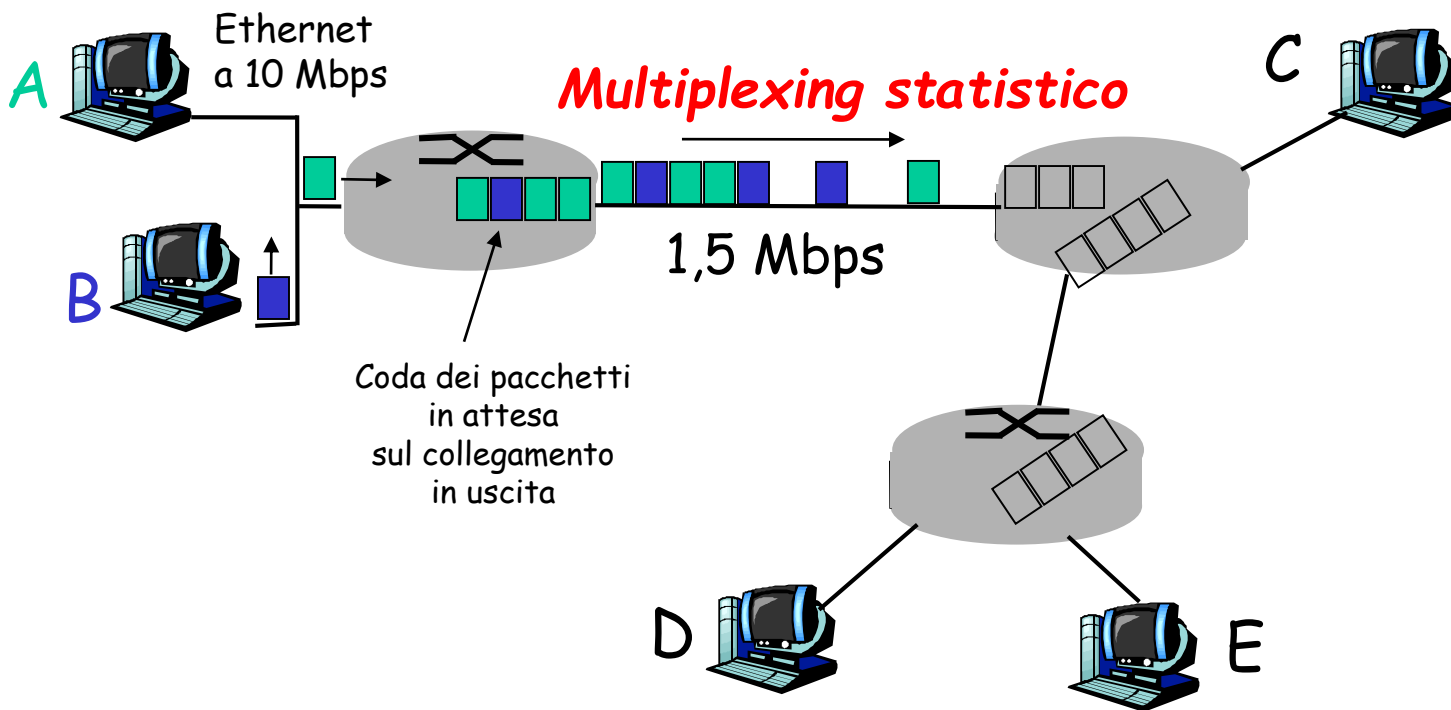
Larghezza di banda suddivisa in pezzi"

Allocazione dedicata

Risorse riservate



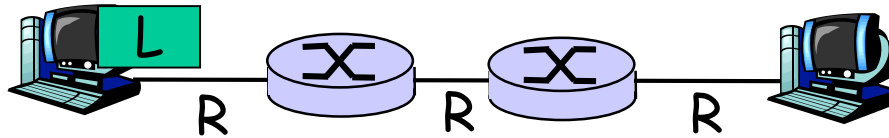
# Commutazione di pacchetto: multiplexing statistico



La sequenza dei pacchetti A e B non segue uno schema prefissato  
Condivisione di risorse su richiesta → **multiplexing statistico**.

TDM: ciascun host ottiene uno slot di tempo dedicato unicamente a quella connessione.

# Commutazione di pacchetto: store-and-forward



- ❑ Occorrono  $L/R$  secondi per trasmettere (push out) un pacchetto di  $L$  bit su un collegamento in uscita da  $R$  bps
- ❑ **store and forward**: l'intero pacchetto deve arrivare al router prima che questo lo trasmetta sul link successivo
- ❑ ritardo =  $3L/R$  (supponendo che il ritardo di propagazione sia zero)

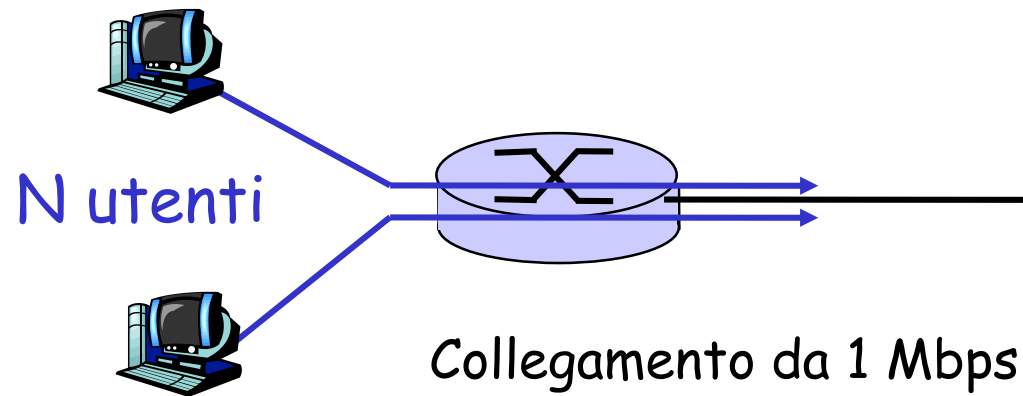
## Esempio:

- ❑  $L = 7,5$  Mbits
- ❑  $R = 1,5$  Mbps
- ❑ ritardo = 15 sec

# Confronto tra commutazione di pacchetto e commutazione di circuito

La commutazione di pacchetto consente a più utenti di usare la rete!

- ❑ 1 collegamento da 1 Mbps
- ❑ Ciascun utente:
  - ❖ 100 kbps quando è "attivo"
  - ❖ attivo per il 10% del tempo
- ❑ commutazione di circuito:
  - ❖ 10 utenti
- ❑ commutazione di pacchetto:
  - ❖ con 35 utenti, la probabilità di averne > 10 attivi è inferiore allo 0,0004



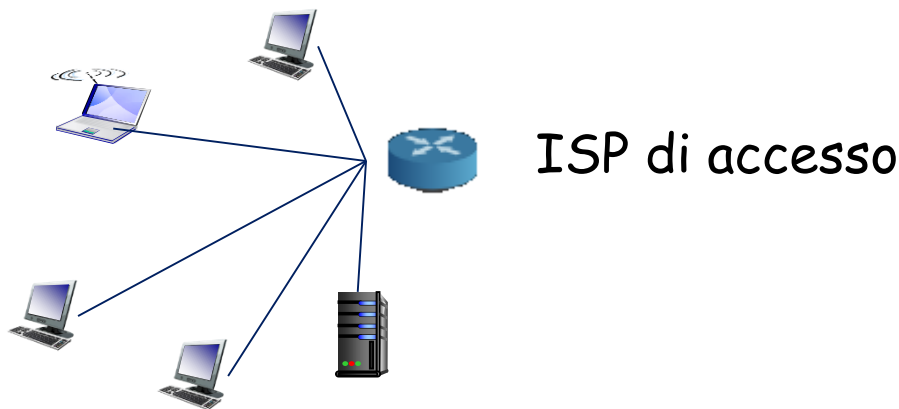
# Confronto tra commutazione di pacchetto e commutazione di circuito

La commutazione di pacchetto è la "scelta vincente?"

- ❑ **Ottima per i dati a raffica**
  - ❖ Condivisione delle risorse
  - ❖ Più semplice, non necessita l'impostazione della chiamata
- ❑ **Eccessiva congestione:** ritardo e perdita di pacchetti
  - ❖ Sono necessari protocolli per il trasferimento affidabile dei dati e per il controllo della congestione
- ❑ **D: Come ottenere un comportamento circuit-like?**
  - ❖ è necessario fornire garanzie di larghezza di banda per le applicazioni audio/video
  - ❖ è ancora un problema irrisolto (cfr Capitolo 7)

# Struttura di Internet: la rete delle reti

- ❑ I sistemi terminali sono connessi a internet tramite ISP (Internet Service Provider) di accesso
  - ❖ Residenziali, aziendali, universitari ...
- ❑ Gli ISP devono a loro volta essere interconnessi
  - ❖ In questo modo due host qualsiasi possono scambiarsi pacchetti
- ❑ La rete risultante è molto complessa
  - ❖ L'evoluzione è stata guidata da motivazioni politiche ed economiche



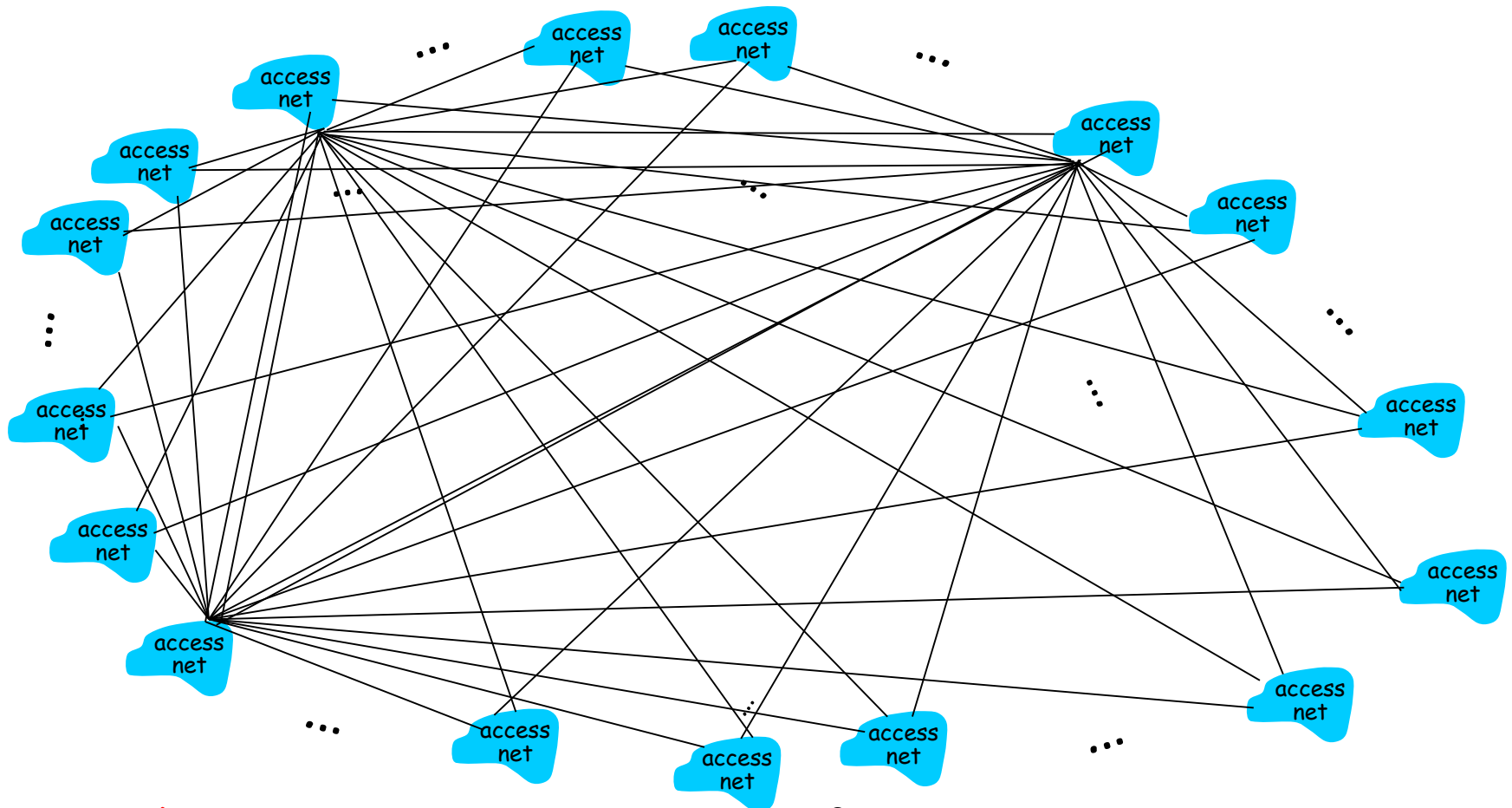
# Struttura di Internet

- **Problema:** dati milioni di ISP di accesso come connetterli fra di loro?



# Struttura di Internet

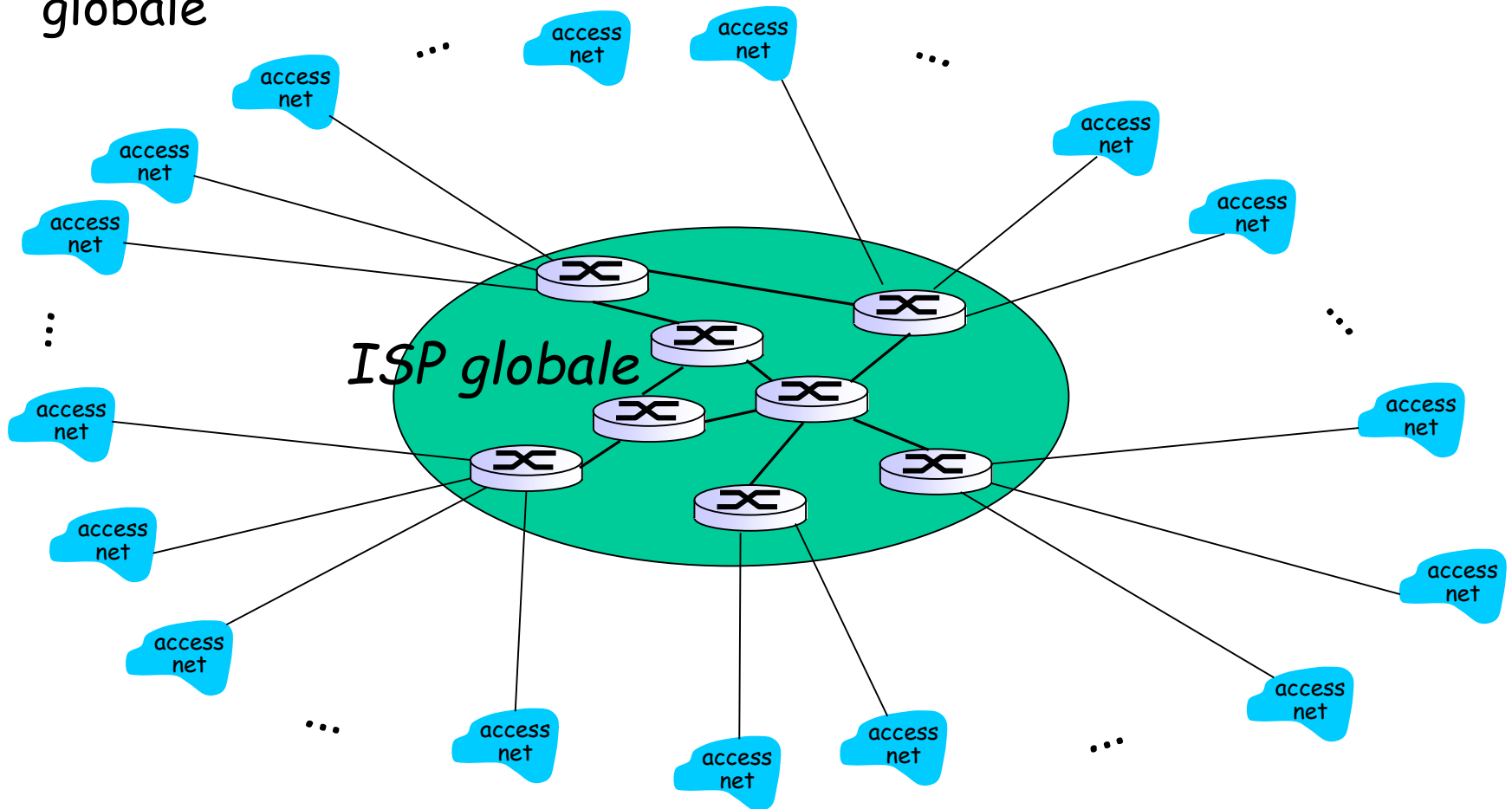
- **Prima idea:** connettere ogni coppia di ISP



**Non è praticabile:** occorrono  $N^2$  connessioni

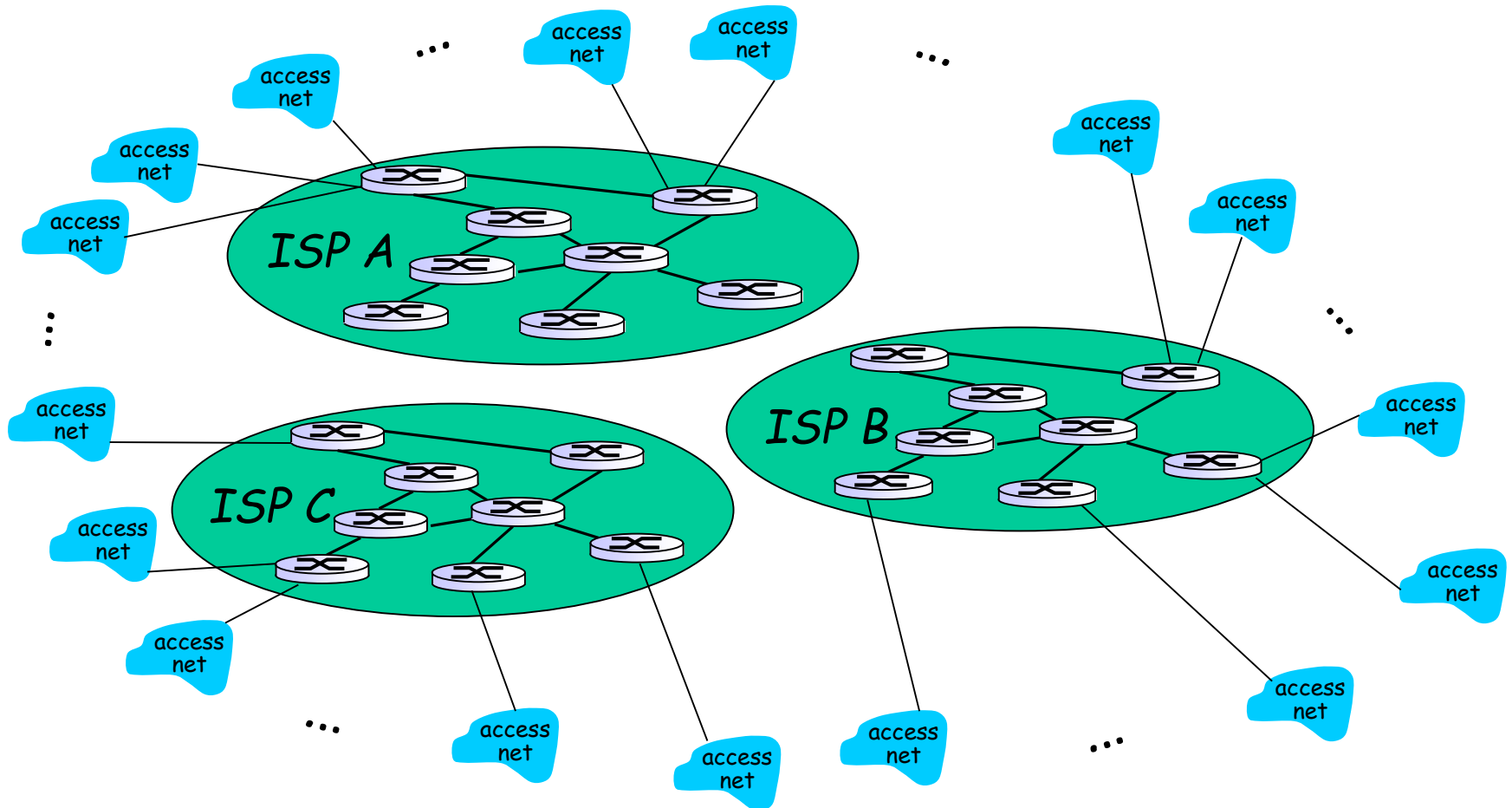
# Struttura di Internet

- **Seconda proposta:** connettere ogni ISP ad un solo ISP globale



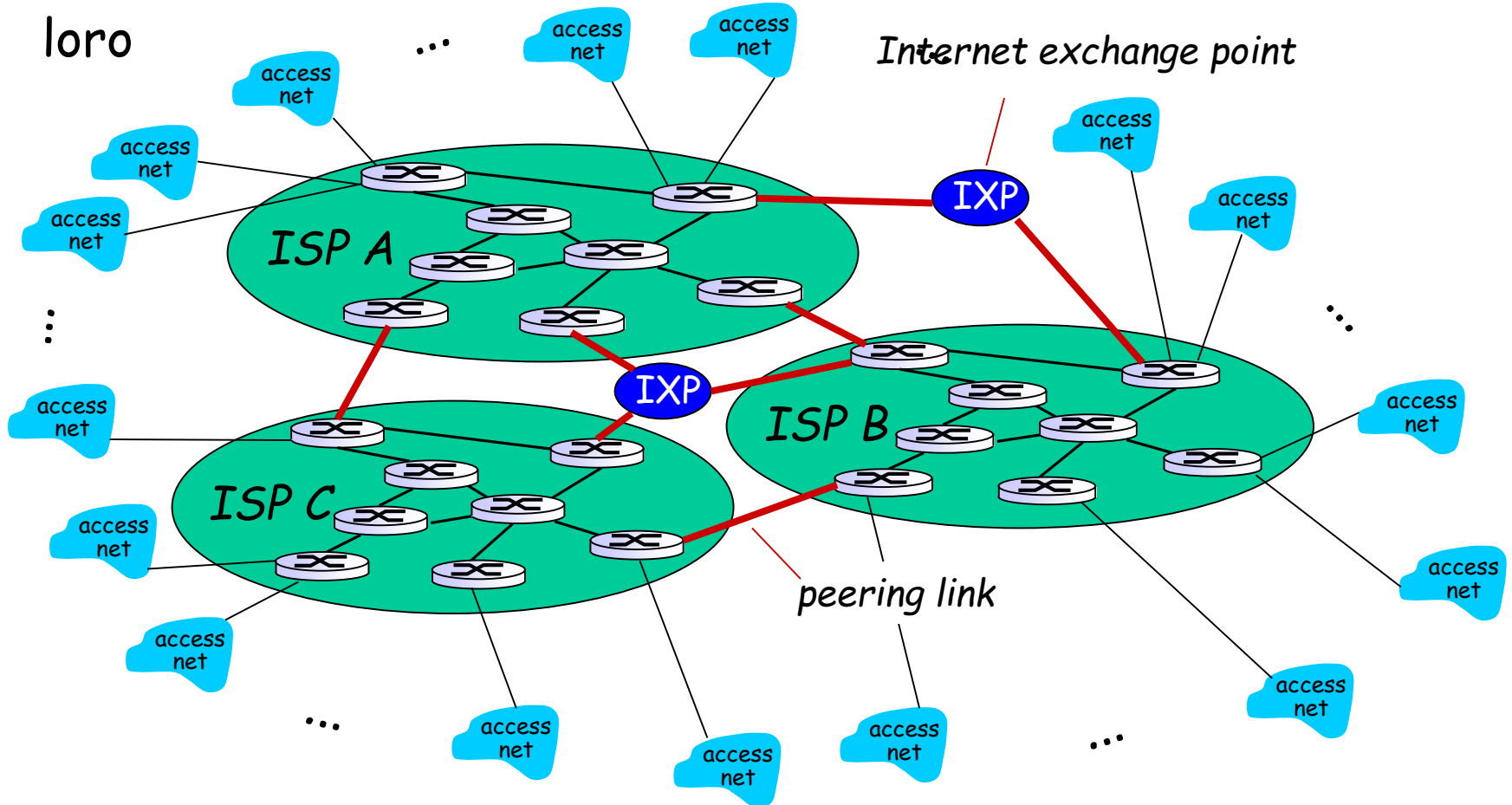
# Struttura di Internet

- Se il sistema è economicamente conveniente allora ci sarebbero concorrenti ...



# Struttura di Internet

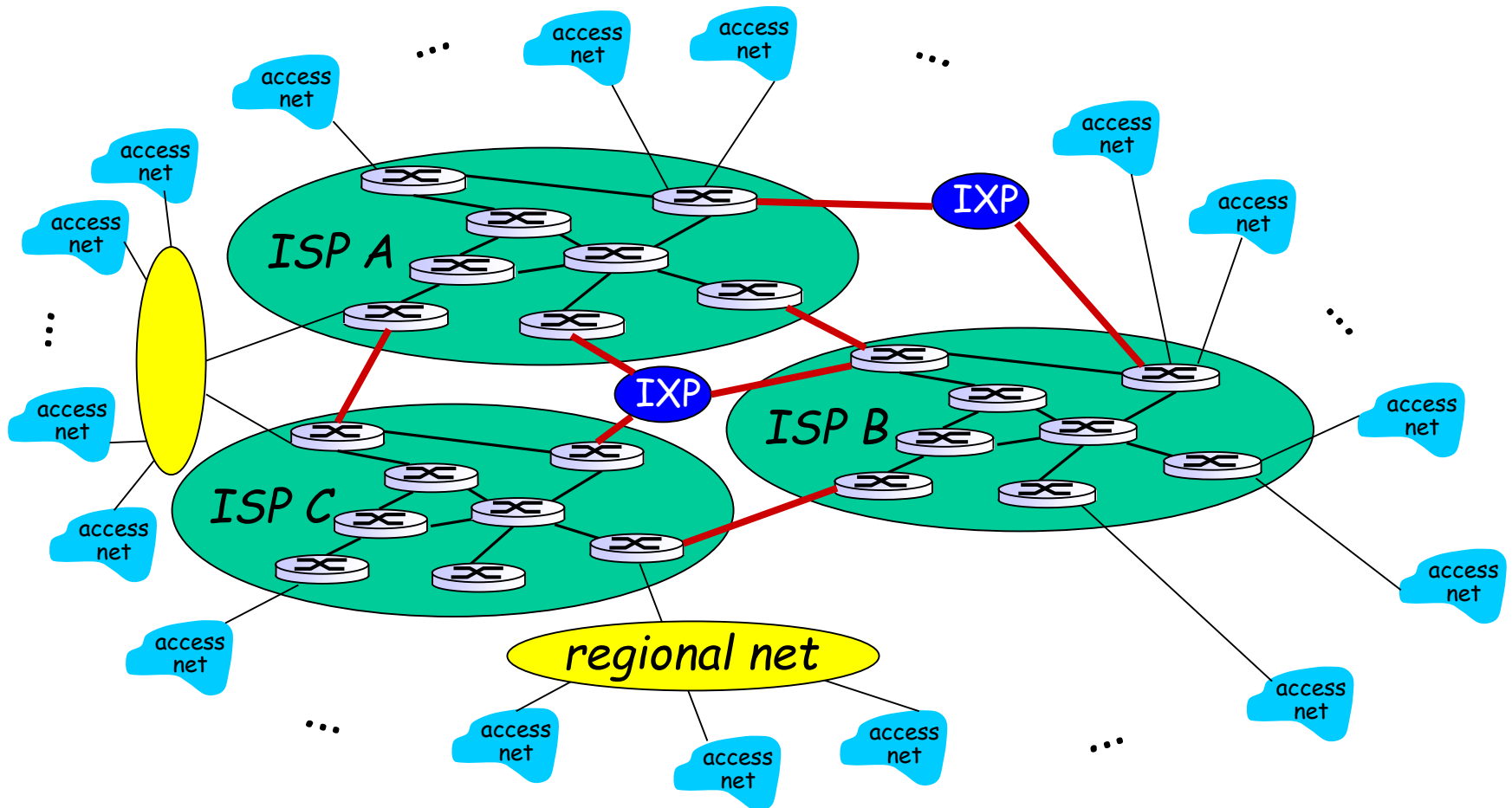
- Se il sistema è economicamente conveniente allora ci sarebbero concorrenti ... che dovrebbero connettersi fra di loro



# Struttura di Internet

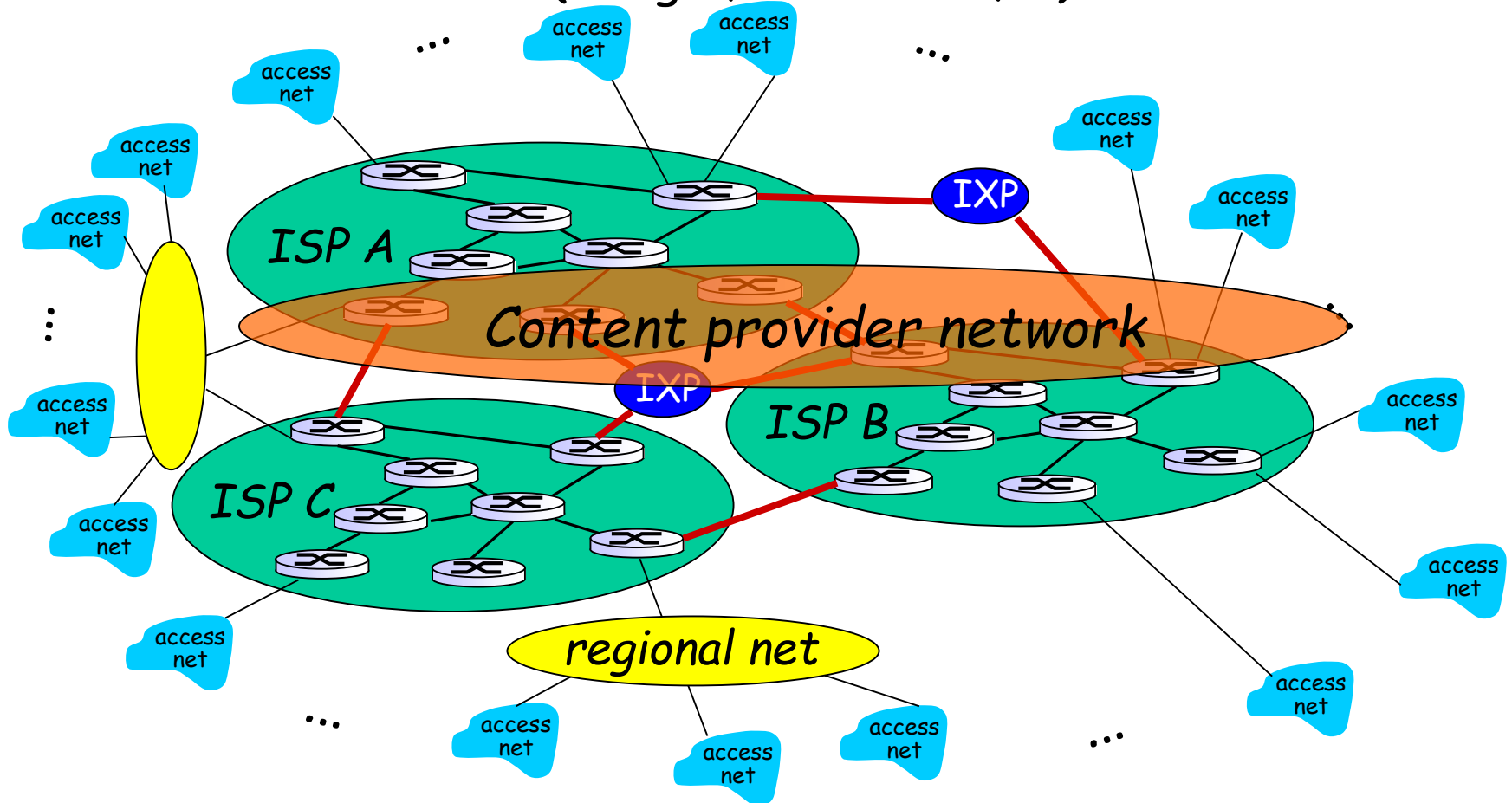
□ ... e potrebbero nascere reti regionali (ISP di livello 2)

❖ Eventualmente anche di livello 3 ...



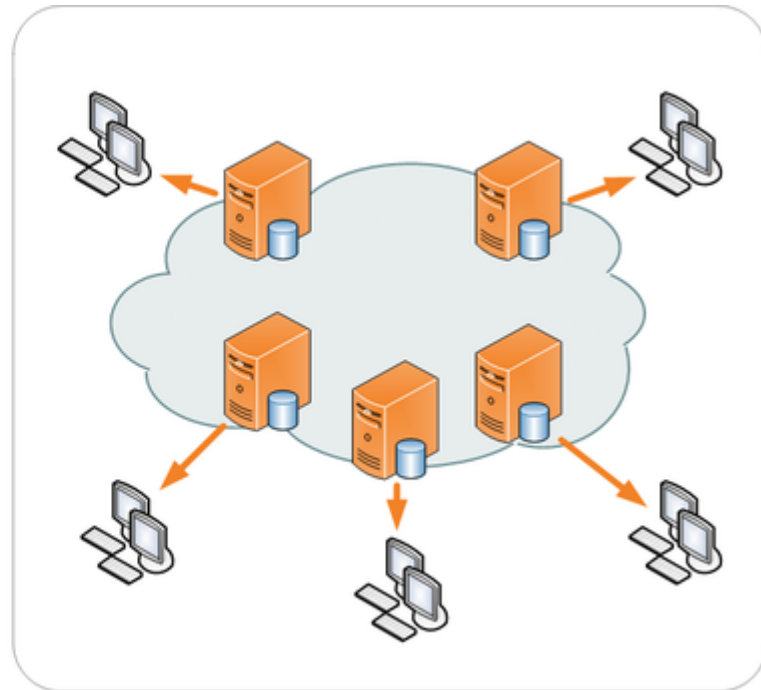
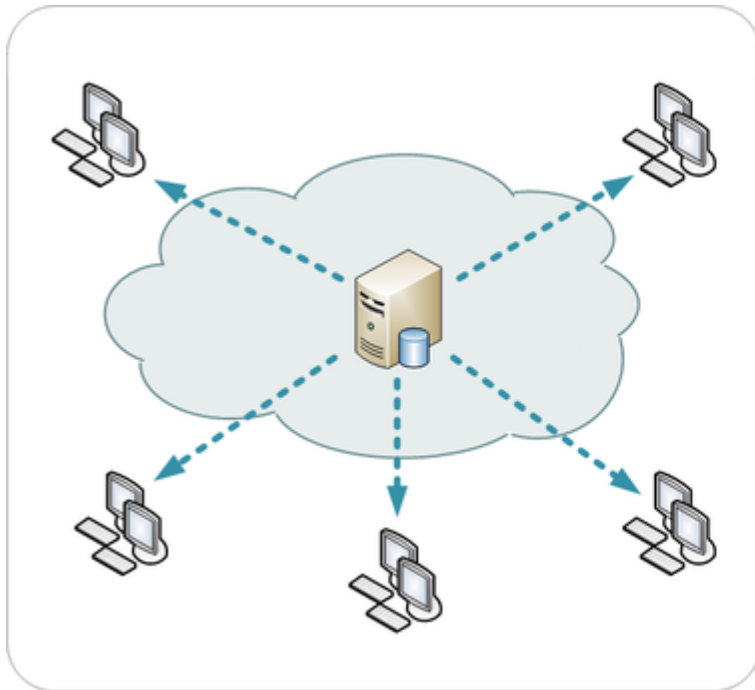
# Content provider networks

- In Internet si sovrappongono reti che si preoccupano di distribuire contenuti (Google, Microsoft, ...)



# Content provider network

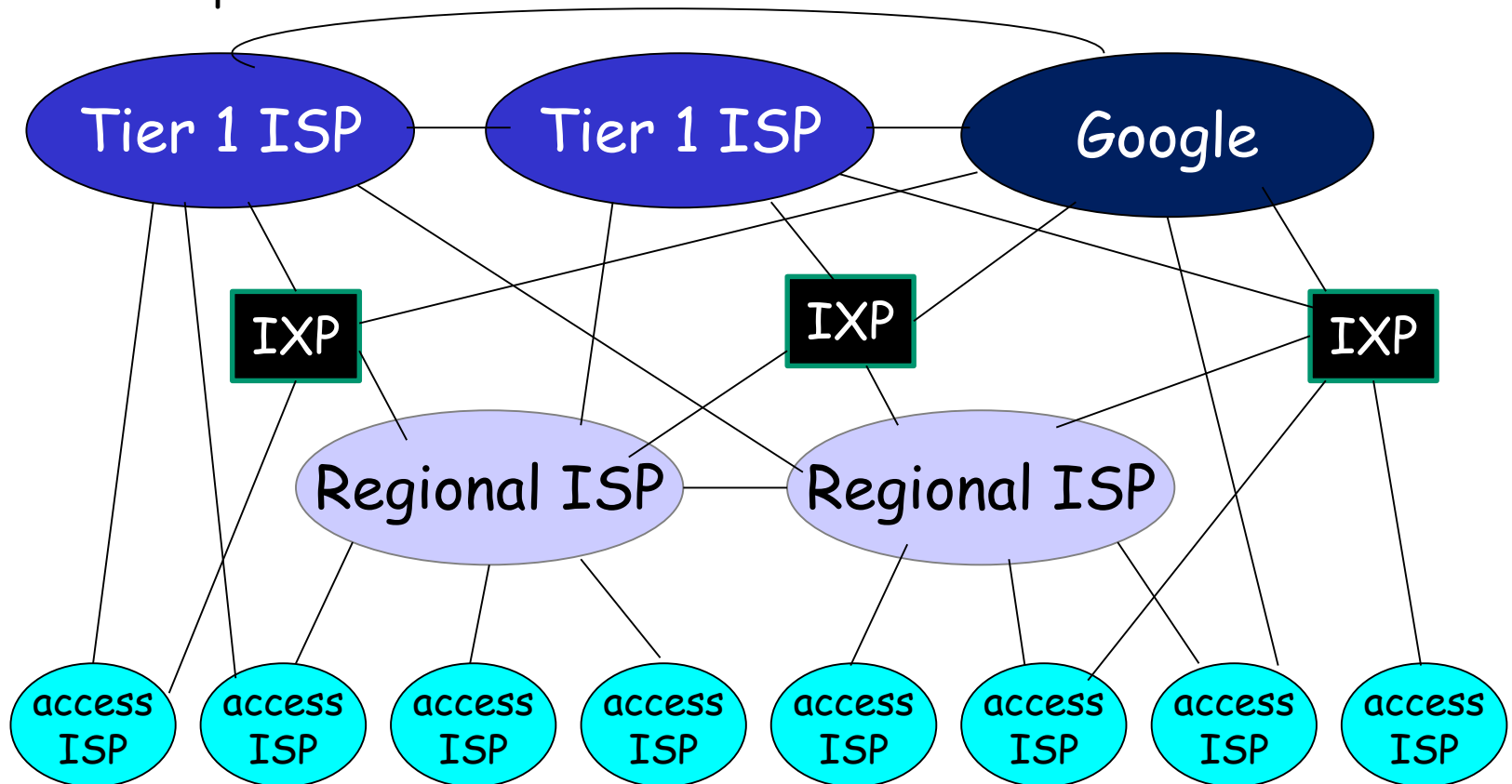
- Schema tradizionale e schema CDN (content delivery network) - le informazioni sono replicate



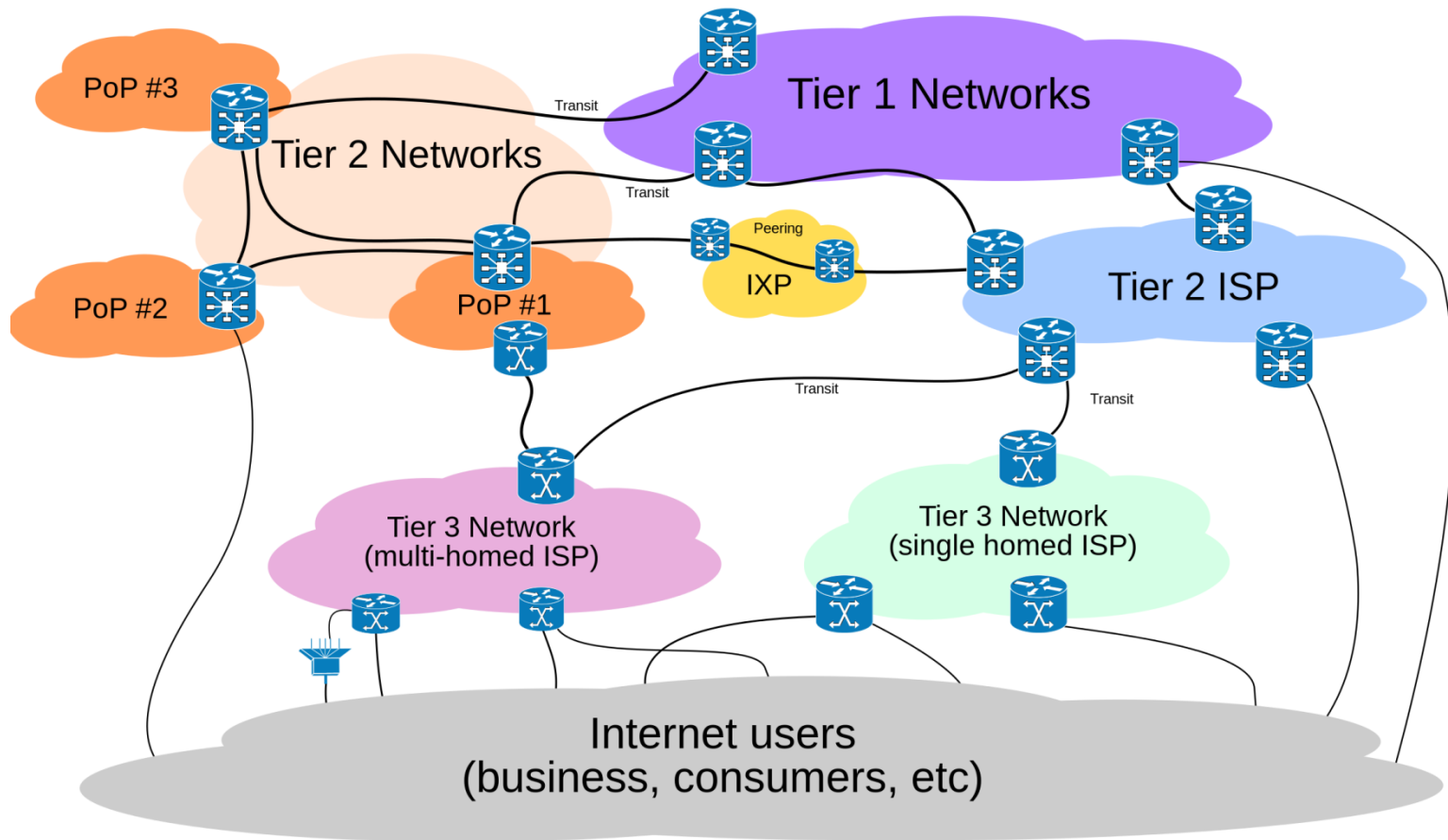
- Esempio: Google 30-50 Data Center (da 100 a 100000 server)

# Struttura di Internet: la rete delle reti

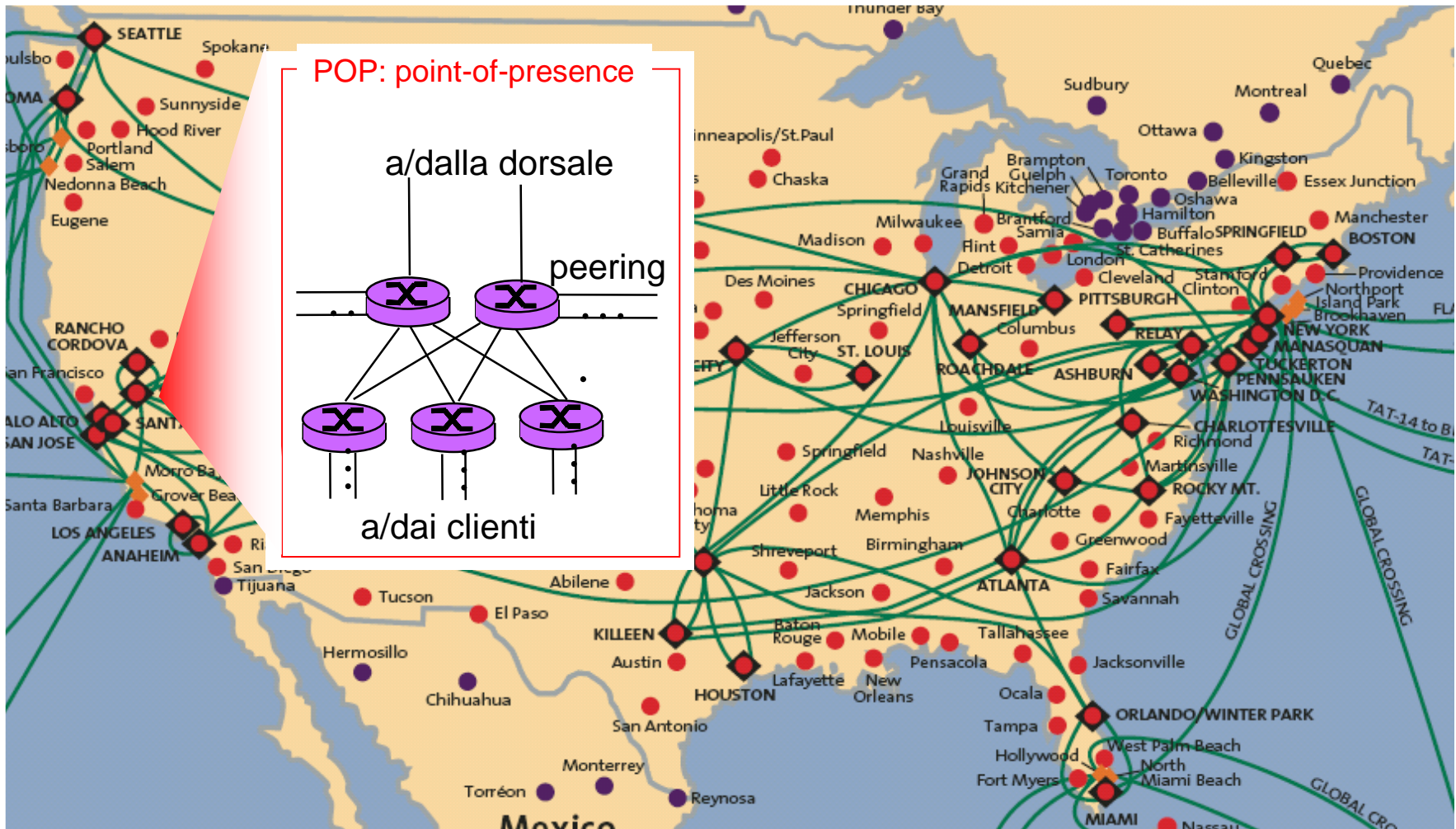
- Al centro un piccolo numero di grandi reti ben connesse
  - ❖ ISP commerciali di livello 1 e reti nazionali
  - ❖ Content provider network



# Struttura di Internet: la rete delle reti



# ISP di livello 1 - Un esempio: Sprint

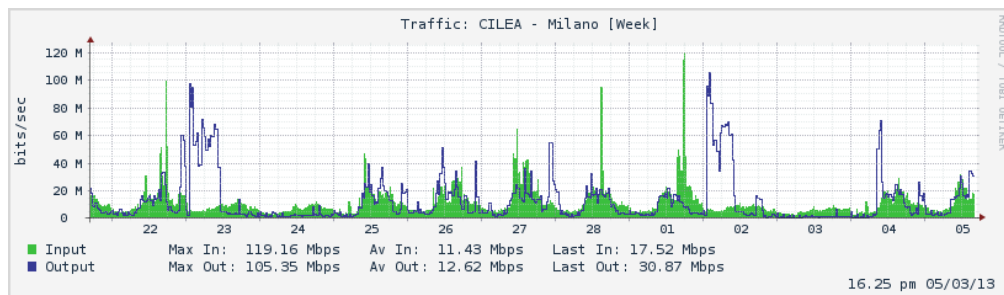
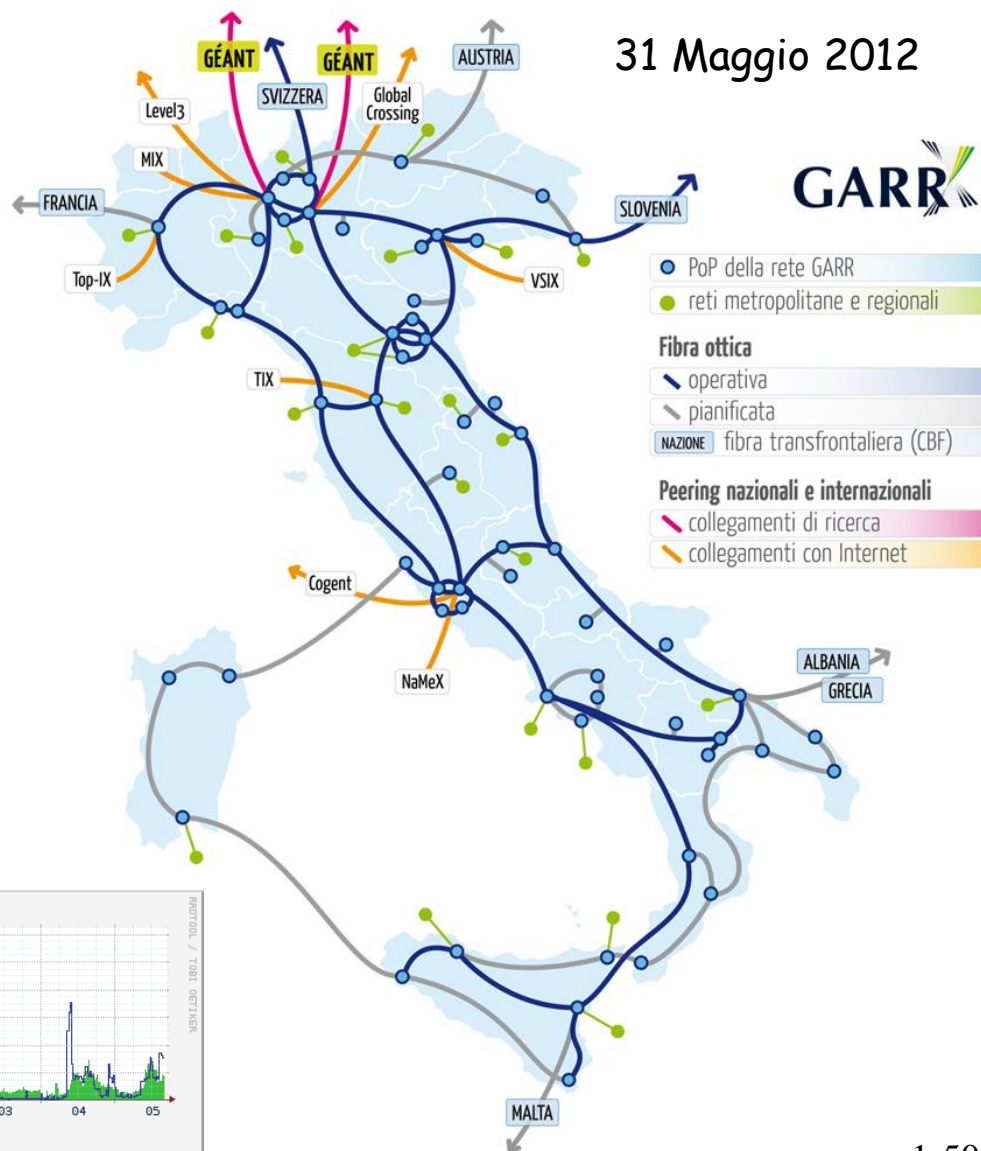


# Internet Rete GARR

□ GARR (Gruppo per l'Armonizzazione delle Reti della Ricerca)  
<http://www.garr.it>

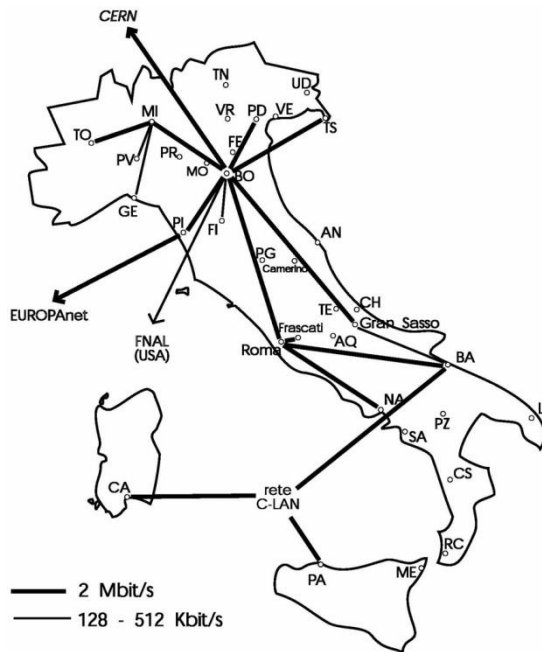
□ La dorsale della rete è costituita da circuiti in fibra ottica che permettono di raggiungere velocità di 20 Gbit/sec.

31 Maggio 2012

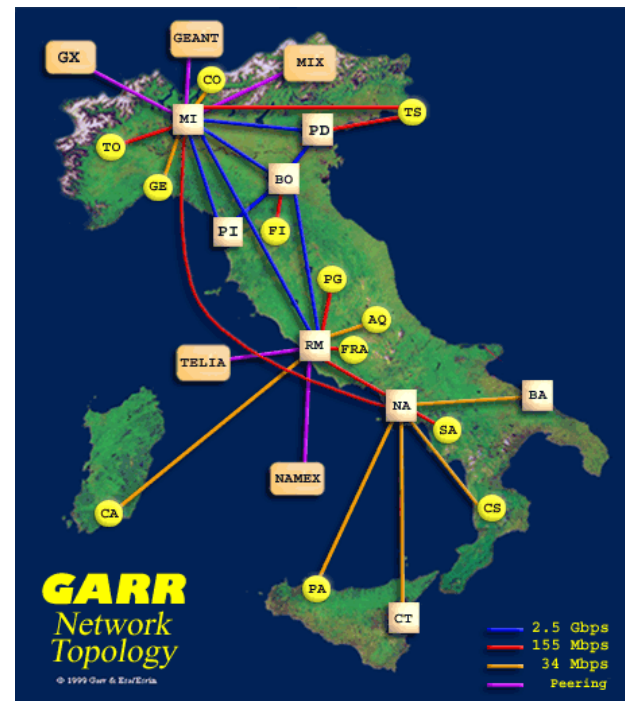




1989



1994

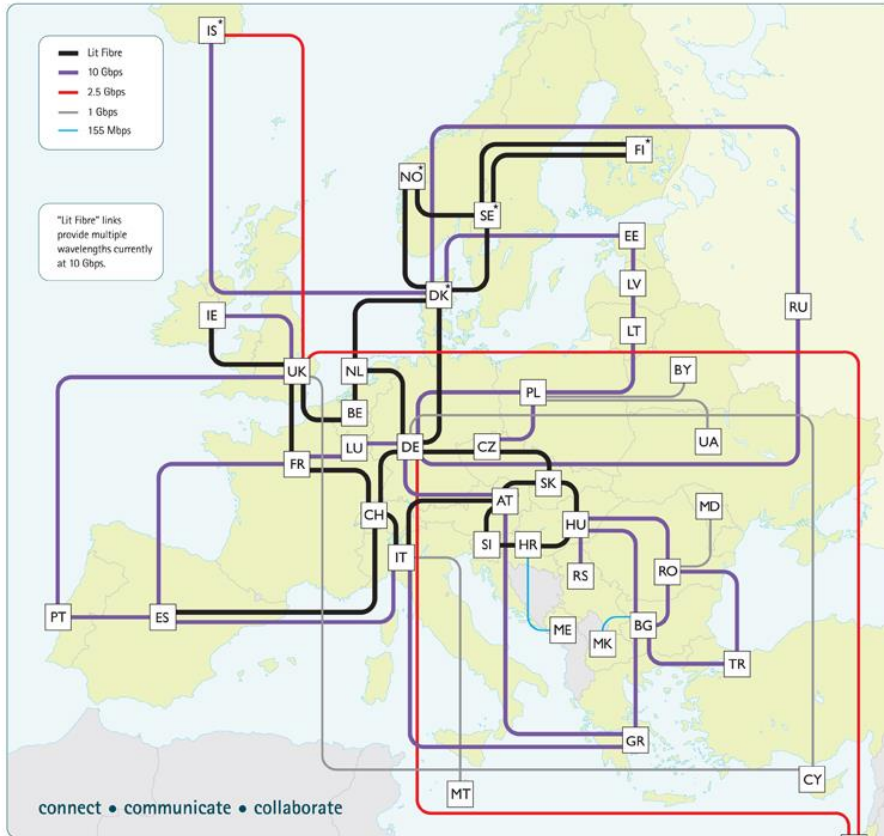


2003

L'Italia fu il terzo Paese in Europa a connettersi in rete, dopo Norvegia e Inghilterra. La connessione avvenne dall'Università di Pisa il 30 aprile 1986.

# GÉANT the pan-European research and education network

Transforming the way users collaborate



Backbone topology as at March 2012. GÉANT is operated by DANTE on behalf of Europe's NRENs.



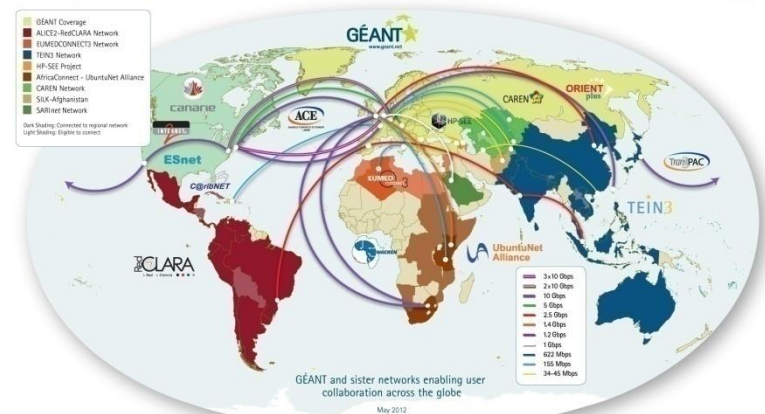
\*Connections between these countries are part of NORDUnet (the Nordic regional network)  
\*\* Associate NRENs

GÉANT is co-funded by the European Commission within its 7th R&D Framework Programme.

This document has been produced with the financial assistance of the European Union. The contents of this document are the sole responsibility of DANTE and can under no circumstances be regarded as reflecting the position of the European Union.



## GÉANT At the Heart of Global Research Networking

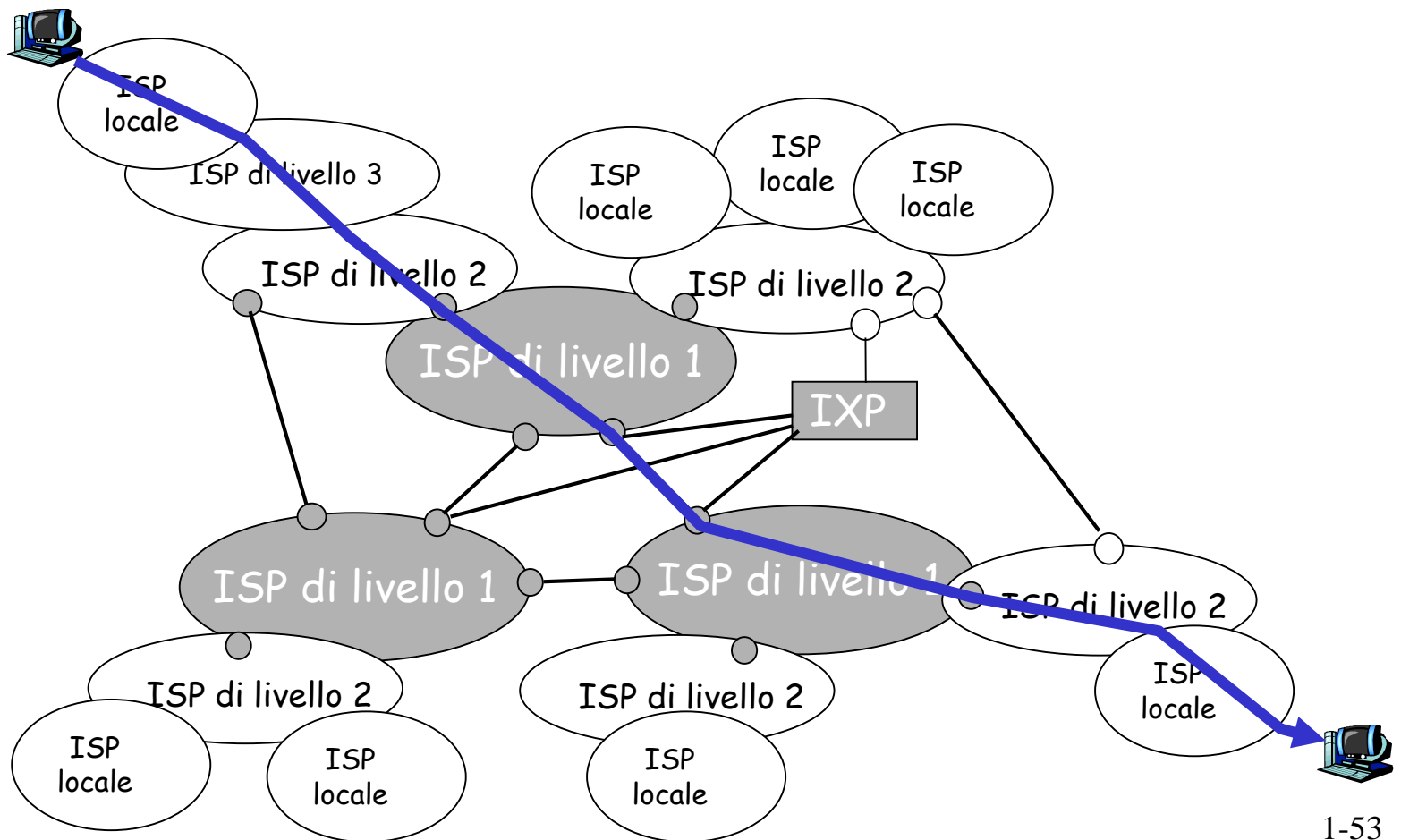


connect • communicate • collaborate

GÉANT is co-funded by the European Commission within its 7th R&D Framework Programme.  
This document has been produced with the financial assistance of the European Union. The contents of this document are the sole responsibility of DANTE and can under no circumstances be regarded as reflecting the position of the European Union.



# Un pacchetto attraversa un sacco di reti



# Capitolo 1: roadmap

## 1.1 Cos'è Internet?

## 1.2 Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

## 1.3 Il nucleo della rete

- commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete

## 1.4 Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

## 1.5 Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

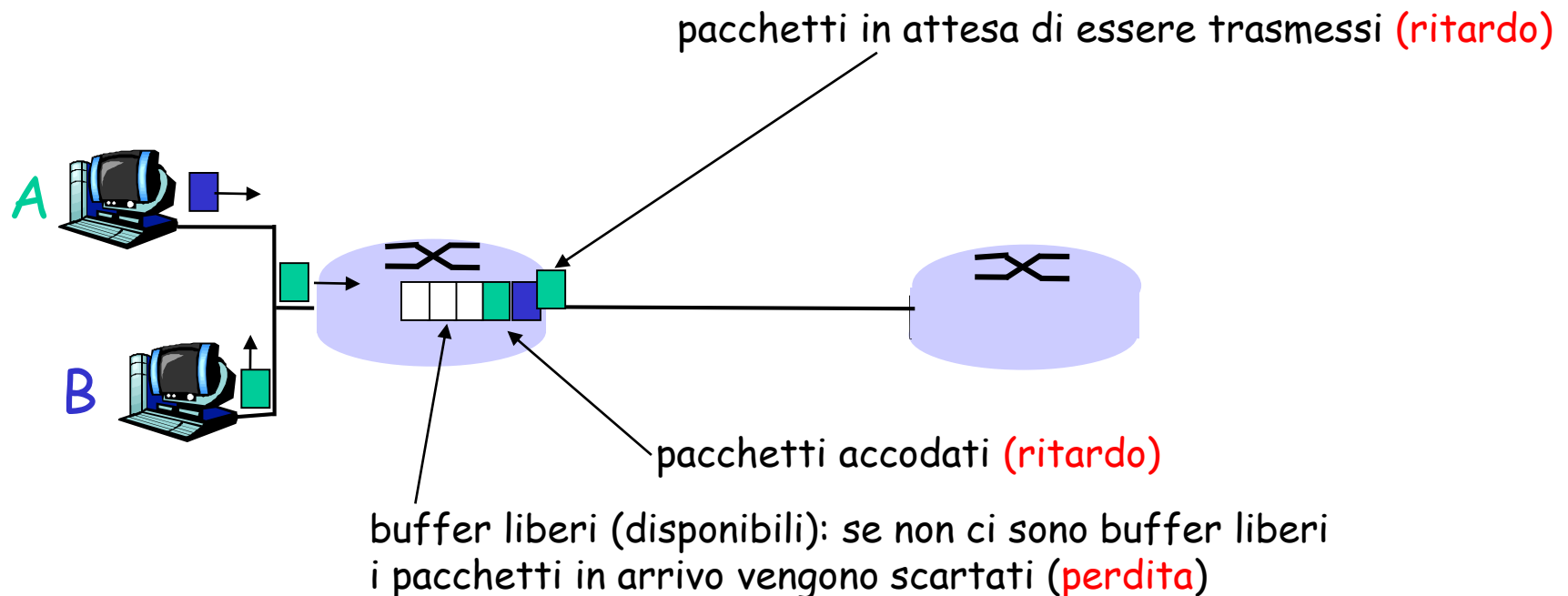
## 1.6 Reti sotto attacco: la sicurezza

## 1.7 Storia del computer networking e di Internet

# Come si verificano ritardi e perdite?

I pacchetti si accodano nei buffer dei router

- il tasso di arrivo dei pacchetti sul collegamento eccede la capacità del collegamento di evaderli
- i pacchetti si accodano, in attesa del proprio turno



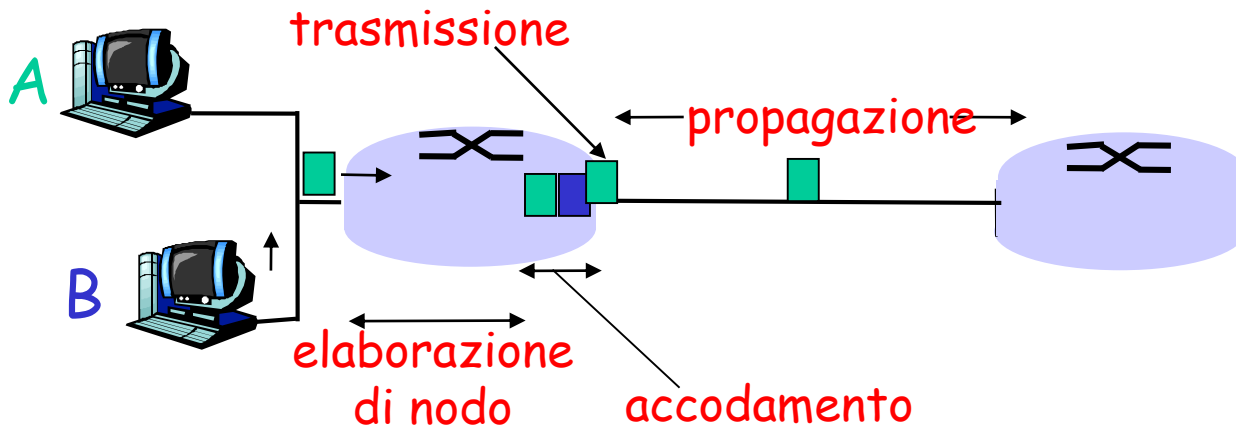
# Quattro cause di ritardo per i pacchetti

## 1. Ritardo di elaborazione del nodo:

- ❖ controllo errori sui bit
- ❖ determinazione del canale di uscita

## 2. Ritardo di accodamento

- ❖ attesa di trasmissione
- ❖ livello di congestione del router



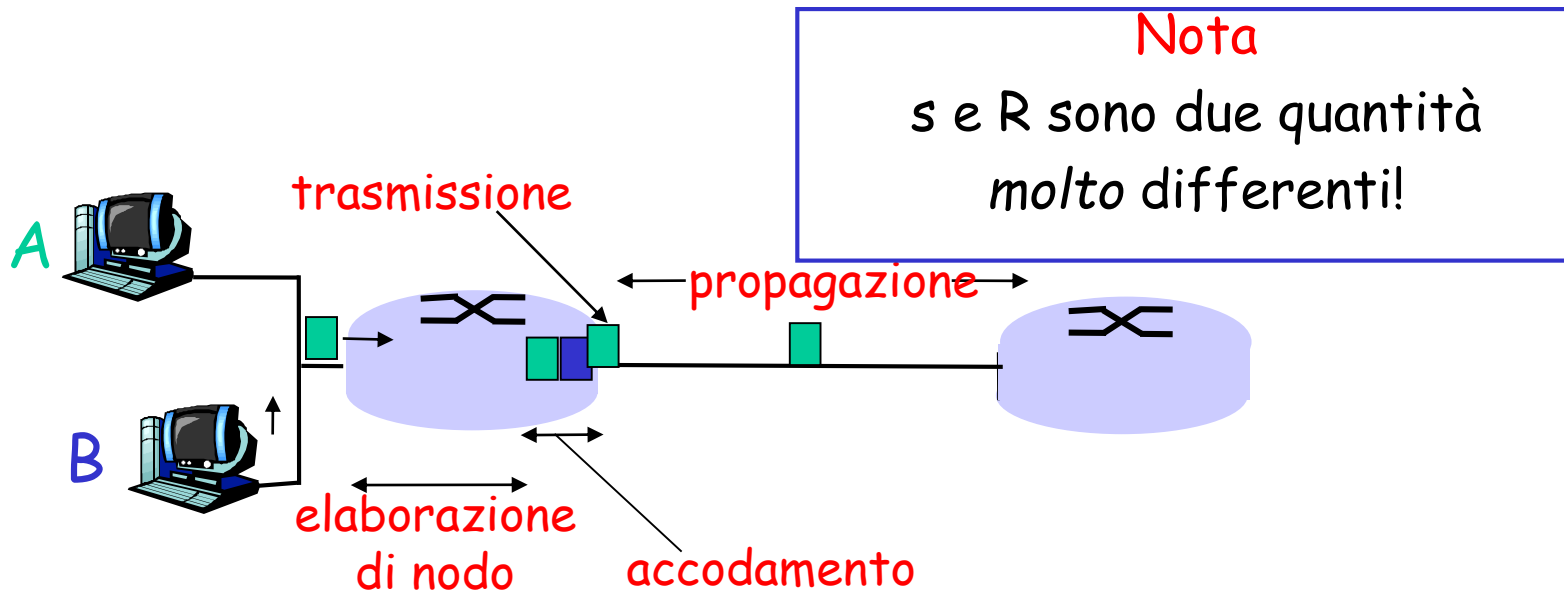
# Ritardo nelle reti a commutazione di pacchetto

## 3. Ritardo di trasmissione ( $L/R$ ):

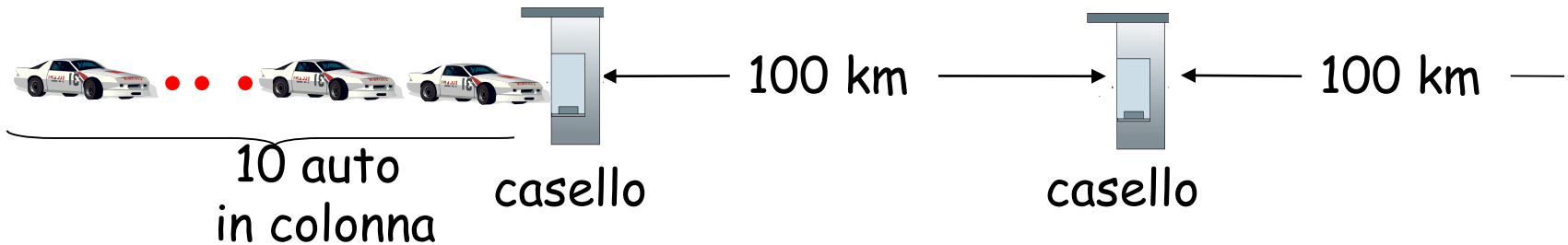
- ❑  $R$  = frequenza di trasmissione del collegamento (in bps)
- ❑  $L$  = lunghezza del pacchetto (in bit)
- ❑ Ritardo di trasmissione =  $L/R$

## 4. Ritardo di propagazione ( $d/s$ )

- ❑  $d$  = lunghezza del collegamento fisico
- ❑  $s$  = velocità di propagazione del collegamento ( $\sim 2 \times 10^8$  m/sec)
- ❑ Ritardo di propagazione =  $d/s$

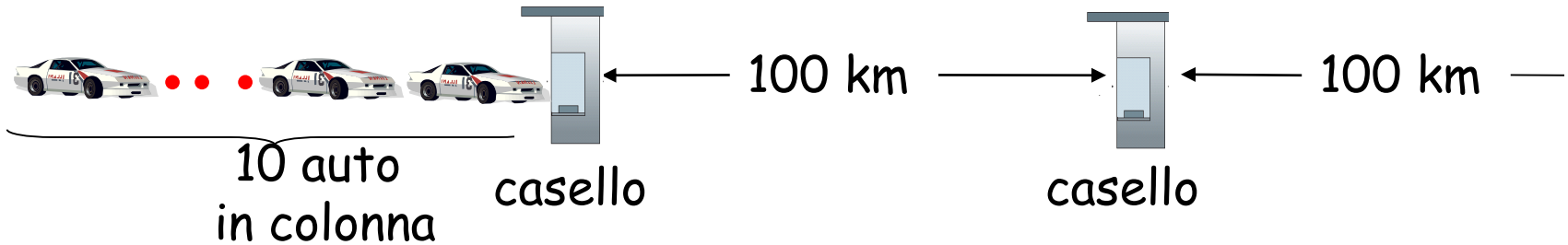


# L'analogia del casello autostradale



- ❑ Le automobili viaggiano (ossia "si propagano") alla velocità di 100 km/h
- ❑ Il casello serve (ossia "trasmette") un'auto ogni 12 secondi
- ❑ auto~bit; colonna ~ pacchetto
- ❑ D: quanto tempo occorre perché le 10 auto in carovana si trovino di fronte al secondo casello?
- ❑ Tempo richiesto al casello per trasmettere l'intera colonna sull'autostrada =  $12 \cdot 10 = 120$  sec
- ❑ Tempo richiesto a un'auto per viaggiare dall'uscita di un casello fino al casello successivo:  $100\text{km}/(100\text{km/h}) = 1$  hr
- ❑ R: 62 minuti

# L'analogia del casello autostradale



- ❑ Le auto ora "si propagano" alla velocità di 1000 km/h
- ❑ Al casello adesso occorre 1 min per servire ciascuna auto
- ❑ **D: le prime auto arriveranno al secondo casello prima che le ultime auto della colonna lascino il primo?**
- ❑ **Sì!** Dopo 7 minuti, la prima auto sarà al secondo casello, e tre auto saranno ancora in coda davanti al primo casello.
- ❑ Il primo bit di un pacchetto può arrivare al secondo router prima che il pacchetto sia stato interamente trasmesso dal primo router!
  - ❖ Si veda l'applet sul sito web

# Ritardo di nodo

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

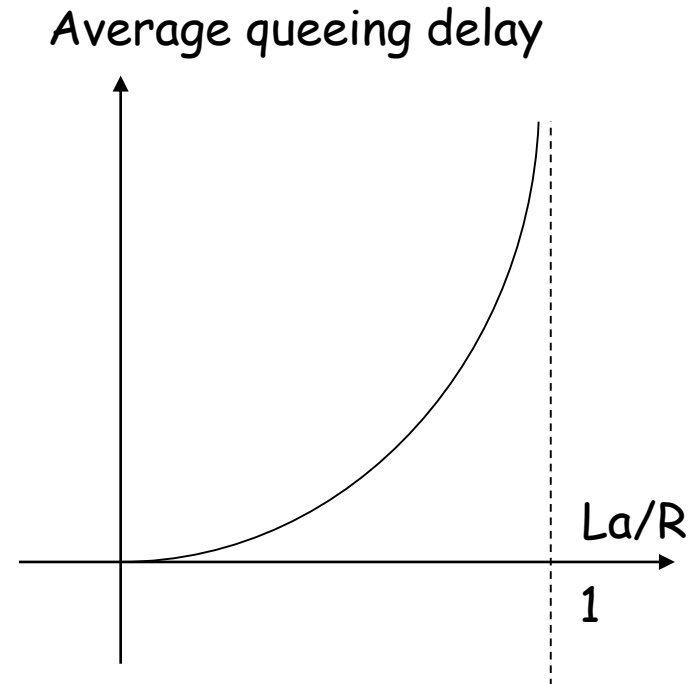
- ❑  $d_{\text{proc}}$  = ritardo di elaborazione (*processing delay*)
  - ❖ in genere pochi microsecondi, o anche meno
- ❑  $d_{\text{queue}}$  = ritardo di accodamento (*queuing delay*)
  - ❖ dipende dalla congestione
- ❑  $d_{\text{trans}}$  = ritardo di trasmissione (*transmission delay*)
  - ❖  $= L/R$ , significativo sui collegamenti a bassa velocità
- ❑  $d_{\text{prop}}$  = ritardo di propagazione (*propagation delay*)
  - ❖ da pochi microsecondi a centinaia di millisecondi

# Ritardo di accodamento

- $R$ =frequenza di trasmissione (bps)
- $L$ =lunghezza del pacchetto (bit)
- $a$ =tasso medio di arrivo dei pacchetti

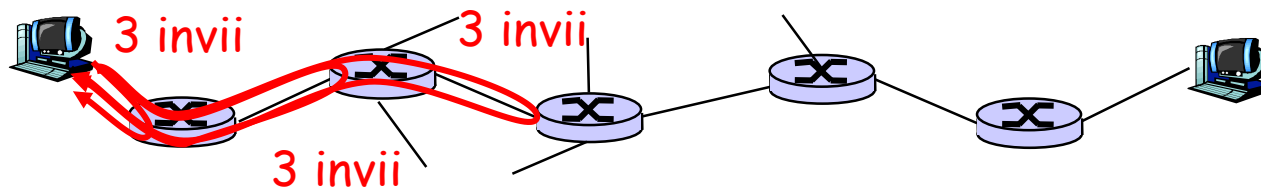
$La/R$  = intensità di traffico

- $La/R \sim 0$ : poco ritardo
- $La/R \rightarrow 1$ : il ritardo si fa consistente
- $La/R > 1$ : più "lavoro" in arrivo di quanto possa essere effettivamente svolto, ritardo medio infinito!



# Ritardi e percorsi in Internet


- ❑ Ma cosa significano effettivamente ritardi e perdite nella "vera" Internet?
- ❑ **Traceroute**: programma diagnostico che fornisce una misura del ritardo dalla sorgente al router lungo i percorsi Internet punto-punto verso la destinazione.
  - ❖ invia tre pacchetti che raggiungeranno il router  $i$  sul percorso verso la destinazione
  - ❖ il router  $i$  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`

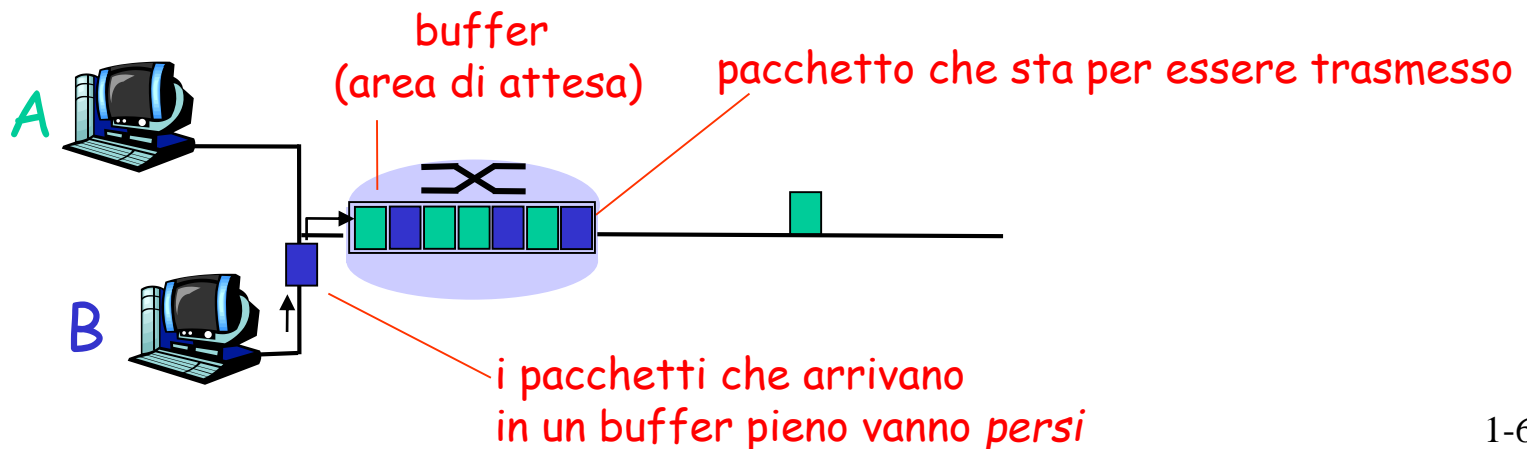
Tre misure di ritardo da  
`gaia.cs.umass.edu` a `cs-gw.cs.umass.edu`



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 ← collegamento transoceanico  
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 \* \* \* ← \* significa nessuna risposta (risposta persa, il router non risponde)  
19 `fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)` 132 ms 128 ms 136 ms

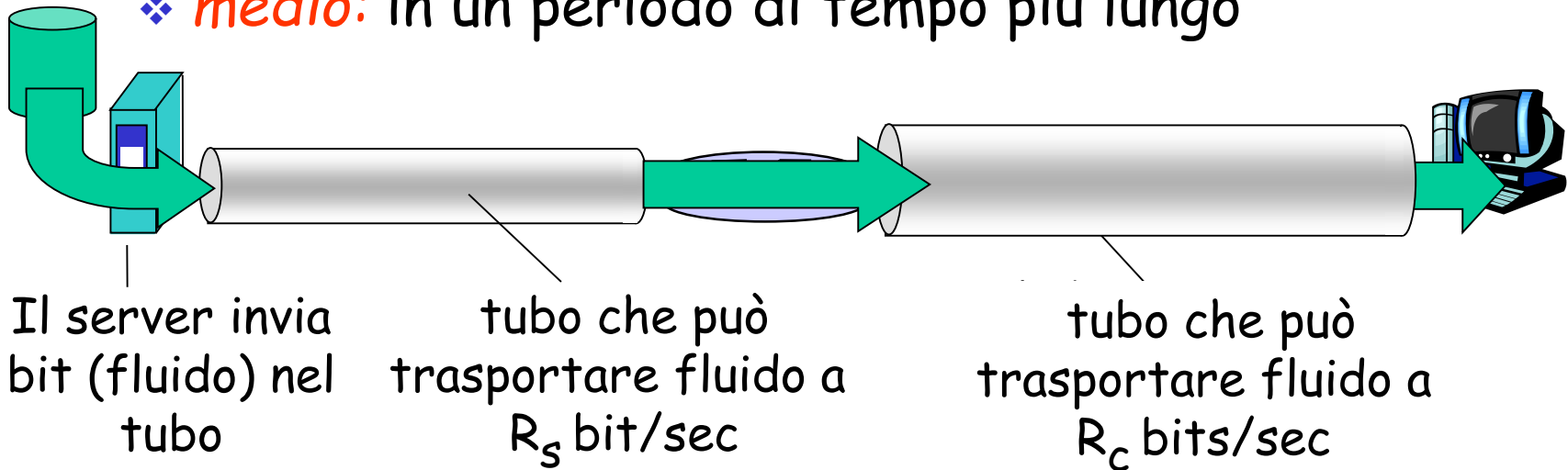
# Perdita di pacchetti

- ❑ una coda (detta anche buffer) ha capacità finita
- ❑ quando il pacchetto trova la coda piena, viene scartato (e quindi va perso)
- ❑ il pacchetto perso può essere ritrasmesso dal nodo precedente, dal sistema terminale che lo ha generato, o non essere ritrasmesso affatto



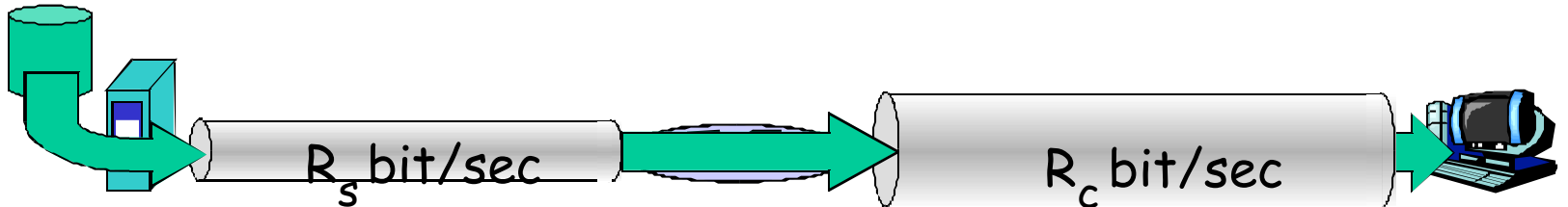
# Throughput

- **throughput**: frequenza (bit/unità di tempo) alla quale i bit sono trasferiti tra mittente e ricevente
  - ❖ **istantaneo**: in un determinato istante
  - ❖ **medio**: in un periodo di tempo più lungo

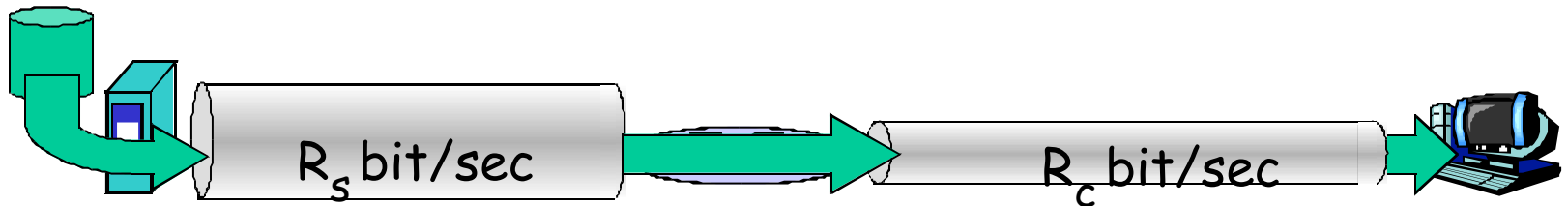


# Throughput

□  $R_s < R_c$  Qual è il throughput medio end to end?



□  $R_s > R_c$  Qual è il throughput medio end to end?

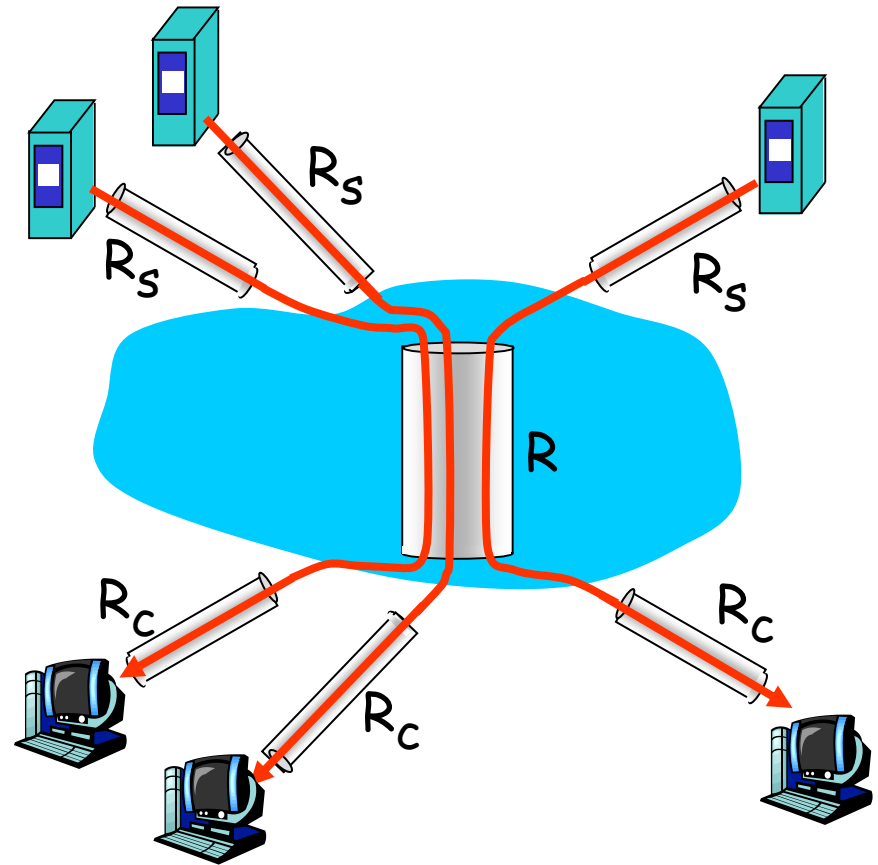


## *Collo di bottiglia*

Collegamento su un percorso punto-punto che vincola un throughput end to end

# Throughput: scenario internet

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



10 collegamenti (equamente) condivisi  
collegamento collo di bottiglia  $R$  bit/sec

# Capitolo 1: roadmap

## 1.1 Cos'è Internet?

## 1.2 Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

## 1.3 Il nucleo della rete

- commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete

## 1.4 Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

## 1.5 Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

## 1.6 Reti sotto attacco: la sicurezza

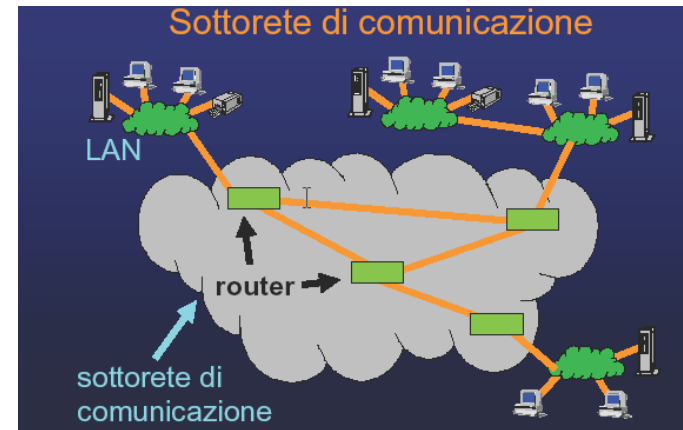
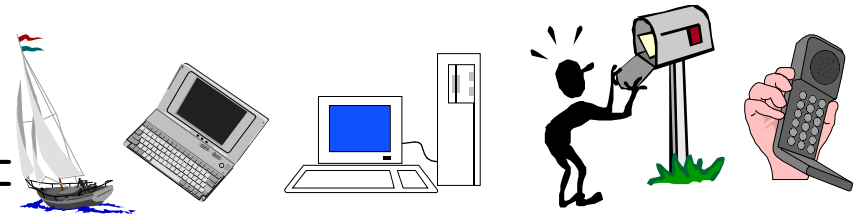
## 1.7 Storia del computer networking e di Internet

# Livelli di protocollo

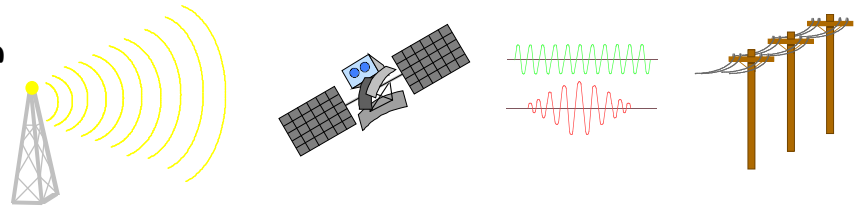
## Le reti sono complesse!

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

applicazioni



tecnologia

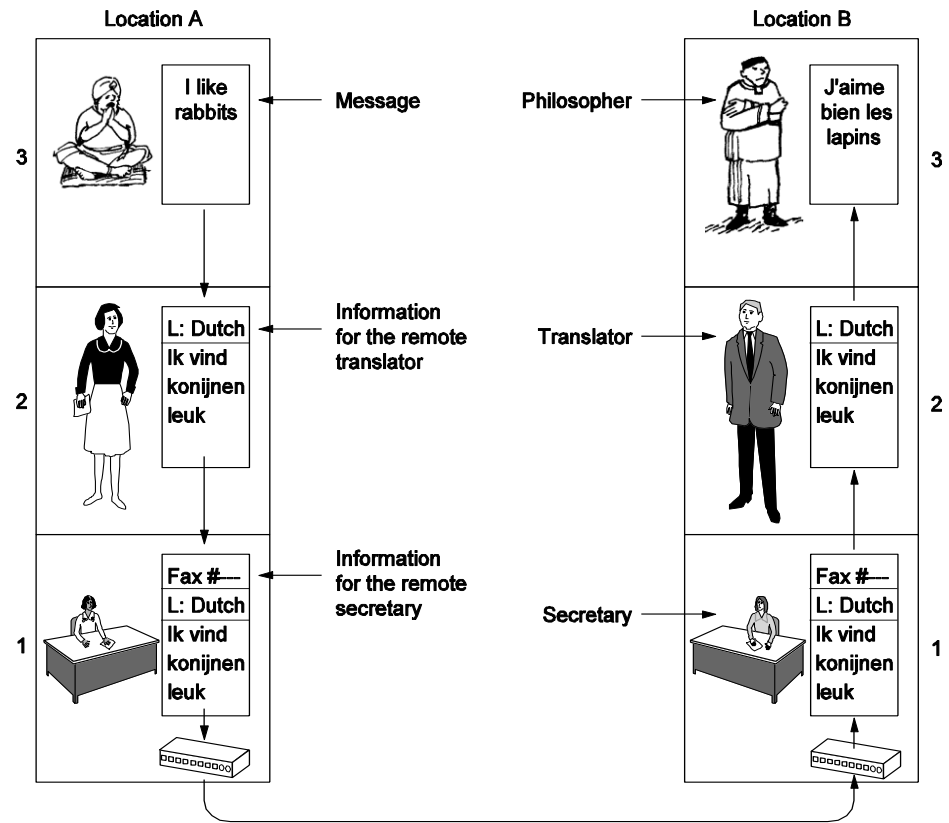


# Una gerarchia di protocolli

□ L'architettura filosofo-traduttore-segretaria.

**Livelli:** ciascun livello realizza un servizio

- ❖ effettuando determinate azioni all'interno del livello stesso
- ❖ utilizzando i servizi del livello immediatamente inferiore

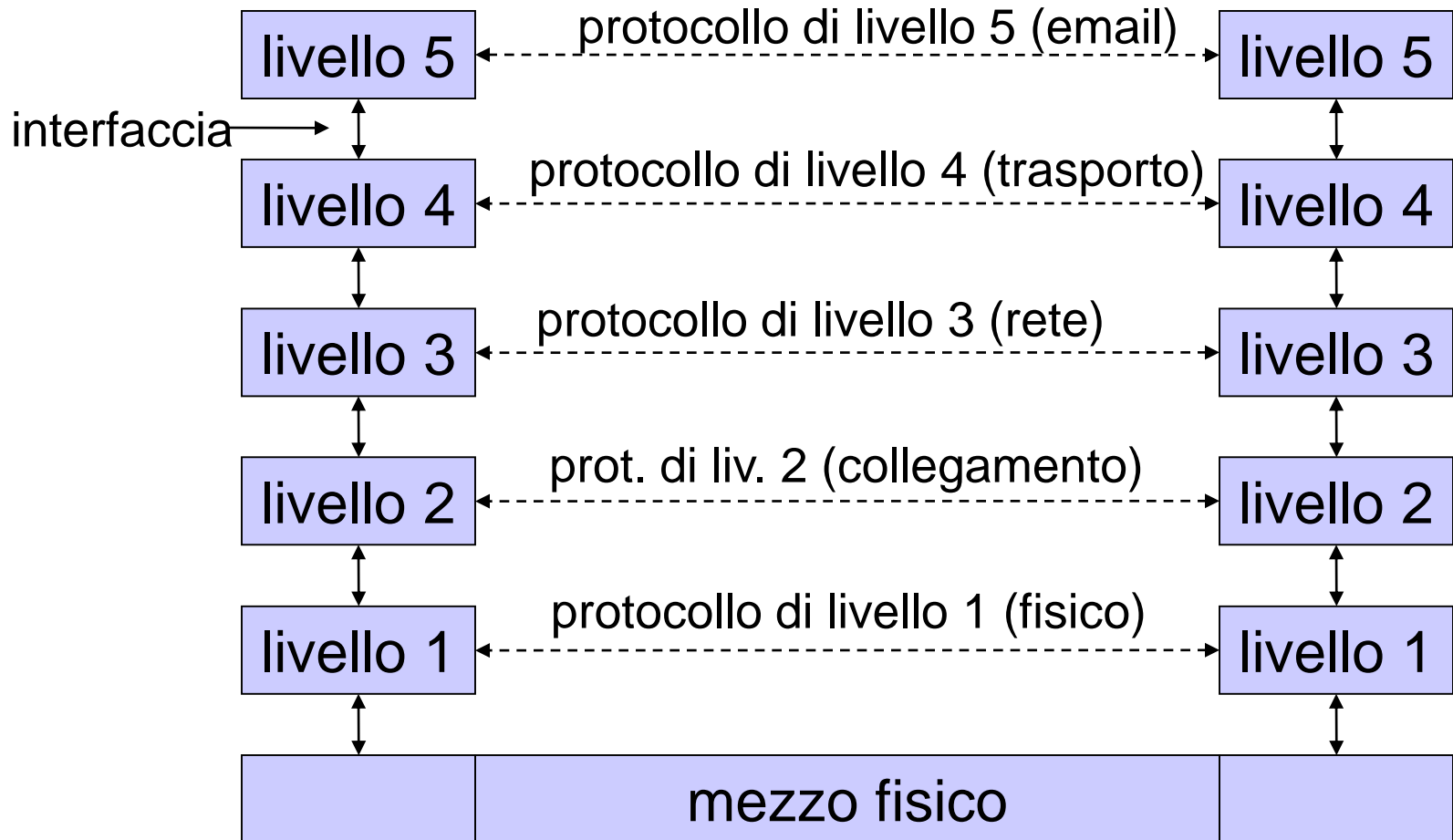


# Perché la stratificazione?

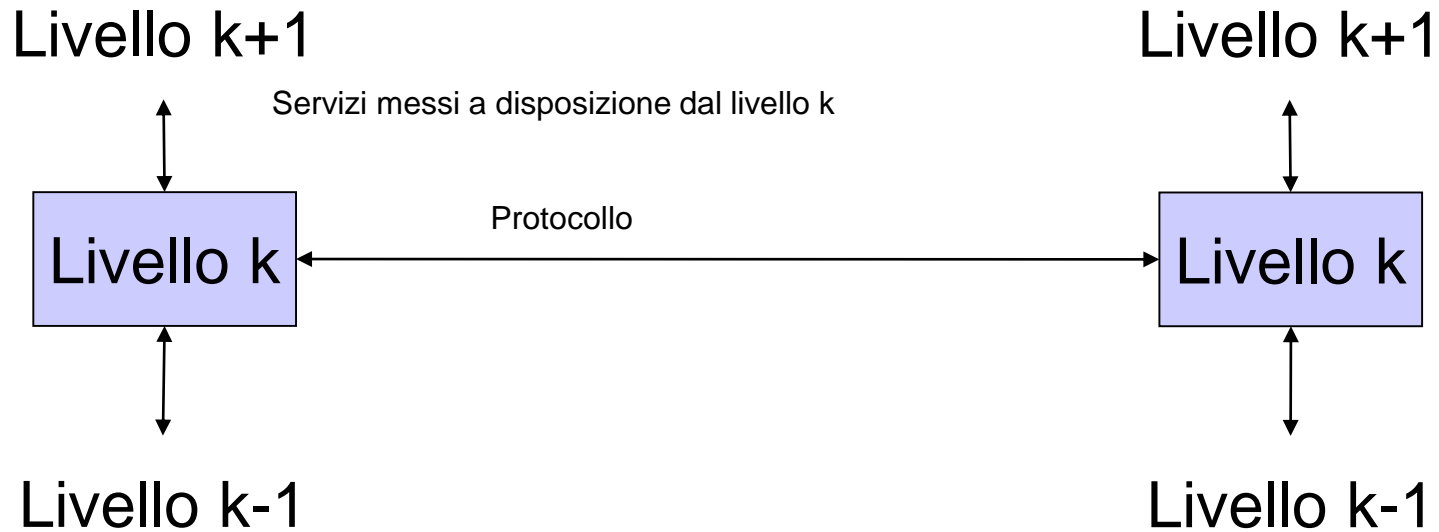
Quando si ha a che fare con sistemi complessi:

- ❑ Una struttura "esplicita" consente l'identificazione dei vari componenti di un sistema complesso e delle loro inter-relazioni
  - ❖ analisi del **modello di riferimento a strati**
- ❑ La modularizzazione facilita la manutenzione e l'aggiornamento di un sistema
  - ❖ modifiche implementative al servizio di uno dei livelli risultano trasparenti al resto del sistema
  - ❖ es.: modifiche nelle procedure effettuate al gate non condizionano il resto del sistema
- ❑ Poniamo al livello più basso le entità fisiche che costituiscono la rete
- ❑ Poniamo al livello più alto le applicazioni ed i servizi che la rete offre
  
- ❑ Otteniamo uno **stack** di layer di comunicazione

# Architettura stratificata



# Servizi e relazioni fra protocolli



# Architettura stratificata

- Uno stack di comunicazione non è solo un modello astratto, ma è anche un insieme di programmi
  - ❖ ogni apparato di rete ha uno stack di comunicazione
  - ❖ ogni livello dello stack implementa un insieme di protocolli e di interfacce
  - ❖ il livello più alto è accessibile ai programmi utente
  - ❖ il livello più basso colloquia direttamente con l'hardware
  - ❖ usualmente, lo stack di comunicazione è parte del Sistema Operativo
  
- Posso immaginare che una comunicazione avvenga tra due stack, allo stesso livello
  - ❖ a seconda del livello, la comunicazione sarà modellata come un flusso di messaggi, un flusso di pacchetti più o meno strutturati, un flusso di bit, per finire con un flusso di onde elettromagnetiche

# Architettura stratificata

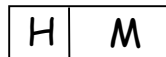
- Ogni livello svolge una o più delle seguenti funzioni:
  - ❖ **controllo dell'errore:** che rende affidabile il canale logico fra gli strati di due elementi di pari livello della rete
  - ❖ **controllo del flusso:** che evita che un elemento lento sia sommerso di richieste
  - ❖ **frammentazione e riassetblaggio:** che, dal lato trasmittente, suddivide grandi blocchi di dati in unità più piccole e, dal lato ricevente, riassetbla le unità nel blocco di dati originale
  - ❖ **multiplexing:** che consente a molte sessioni dello strato più alto di condividere una singola connessione al livello più basso
  - ❖ **instaurazione della connessione:** che fornisce il meccanismo di handshake con un pari livello

# Architettura stratificata

- ❑ La comunicazione attraversa gli strati di uno stack trasmittente in discesa
- ❑ La comunicazione attraversa gli strati di uno stack ricevente in salita
  
- ❑ Lo stack di un nodo intermedio viene attraversato prima in salita (ricevente) poi in discesa (ritrasmissione)
  - ❖ non è necessario che lo stack di un nodo intermedio sia attraversato completamente
  - ❖ infatti, è necessario che l'informazione ricevuta raggiunga solo il livello più appropriato a gestire il suo reindirizzamento

# Architettura stratificata

- ❑ Per garantire che l'informazione venga mantenuta tra uno strato e l'altro, e per isolare le informazioni di controllo proprie dei vari livelli, si usa un meccanismo di **incapsulamento**
- ❑ Ogni livello in trasmissione vede un blocco di dati in ingresso come indistinto
  - ❖ Dopo aver eventualmente frammentato il blocco di dati opportunamente, un livello aggiunge ad ogni pezzo del messaggio ottenuto **una intestazione (header)** che contiene i dati di controllo necessari per realizzare le funzioni del livello stesso

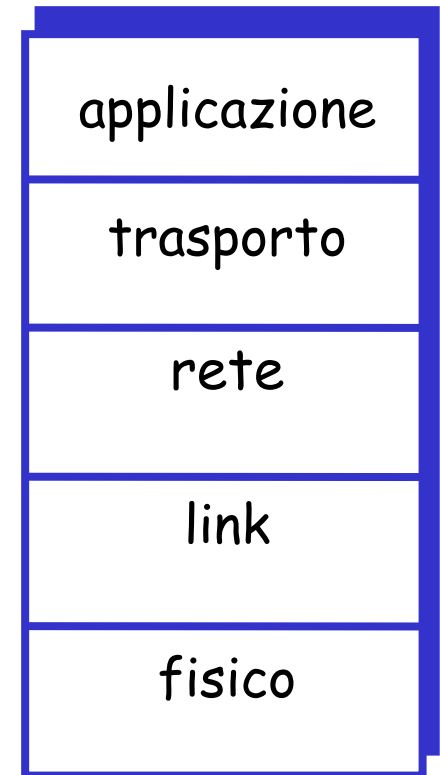


# Architettura stratificata

- ❑ Il risultato è, che, in trasmissione scendendo nello stack, ogni livello aggiunge una propria intestazione al messaggio originale
- ❑ In ricezione, ogni livello elimina l'informazione contenuta nello header che lo riguarda, prima di passare il messaggio al livello superiore
- ❑ In questo modo, il messaggio di livello più alto viene via via incapsulato sempre più profondamente in un messaggio di basso livello, che contiene tutta l'informazione presente nell'originale, e, in più, tutte le informazioni di gestione che i livelli hanno aggiunto nelle varie intestazioni

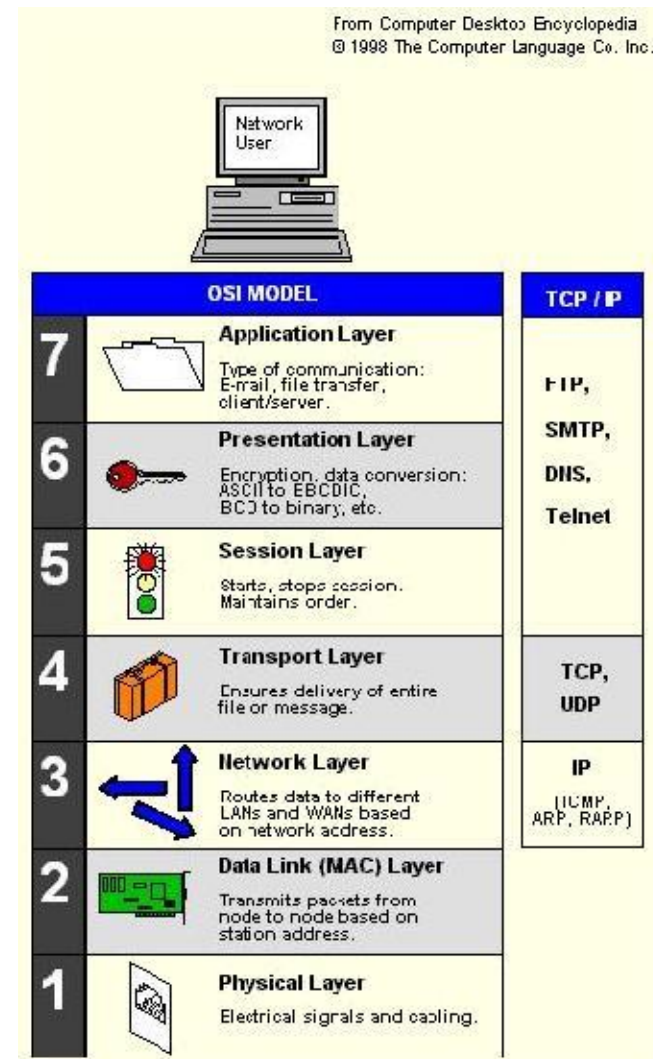
# Pila di protocolli Internet

- ❑ **applicazione:** di supporto alle applicazioni di rete
  - ❖ FTP, SMTP, HTTP
- ❑ **trasporto:** trasferimento dei messaggi a livello di applicazione tra il modulo client e server di un'applicazione
  - ❖ TCP, UDP
- ❑ **rete:** instradamento dei datagrammi dall'origine al destinatario
  - ❖ IP, protocolli di instradamento
- ❑ **link (collegamento):** trasferimento dei frame attraverso una serie di commutatori di pacchetto
  - ❖ PPP, Ethernet
- ❑ **fisico:** trasferimento dei singoli bit

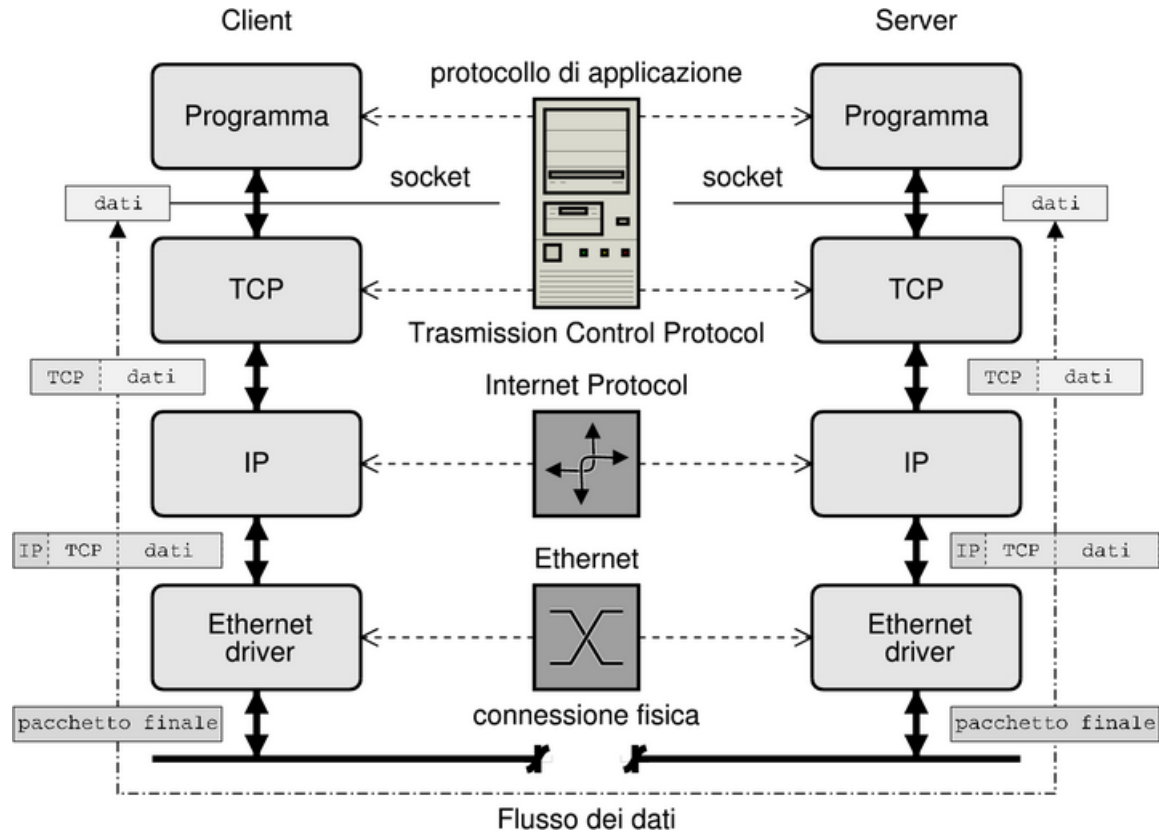


# Modello di riferimento ISO/OSI

- **presentazione:** consente alle applicazioni di interpretare il significato dei dati (es. cifratura, compressione, convenzioni specifiche della macchina)
- **sessione:** sincronizzazione, controllo, recupero dei dati
- La pila Internet è priva di questi due livelli!
  - ❖ questi servizi, *se necessario*, possono essere implementati nelle applicazioni
  - ❖ sono necessari?



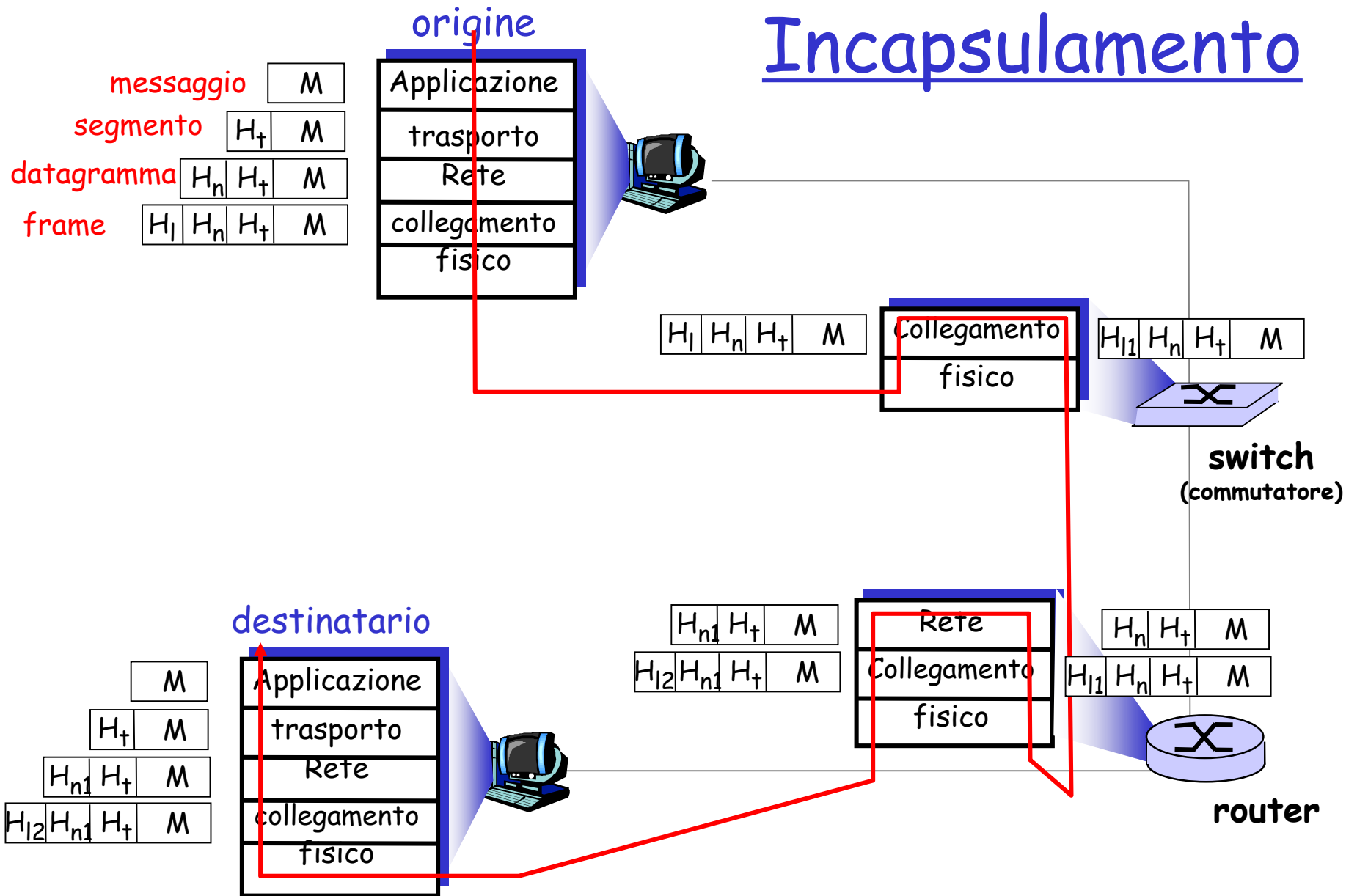
# Il protocollo TCP/IP



# Stack di TCP/IP

- ❑ Lo stack **TCP/IP** è analogo allo stack di Internet, e lo riportiamo per motivi essenzialmente storici
- ❑ Esso collassa i livelli di rete e di collegamento nel livello **Internet**
- ❑ Inoltre, chiama **media access** il livello fisico
- ❑ A parte queste differenze, che hanno ragioni prettamente implementative (legate allo sviluppo dello stack di Unix), lo stack TCP/IP è conforme allo stack di Internet

# Incapsulamento



# Strato di applicazione

- ❑ Lo strato delle applicazioni è responsabile del supporto delle applicazioni di rete
  
- ❑ Queste applicazioni comprendono molti protocolli
  - ❖ HTTP per le applicazioni web
  - ❖ SMTP per le applicazioni che usano la posta elettronica
  - ❖ FTP per le applicazioni che intendano trasferire file tra calcolatori
  - ❖ ...
  
- ❑ Il livello applicazione implementa i vari protocolli che le applicazioni di rete sopracitate utilizzano

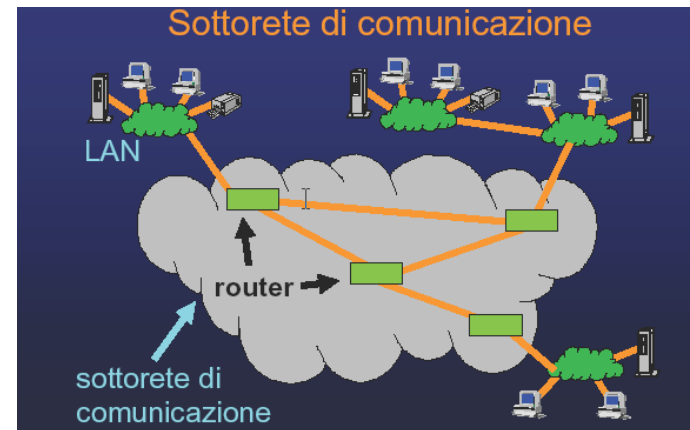
# Strato di trasporto

- Lo strato di trasporto fornisce il servizio di trasporto di un messaggio dello strato applicazione da un client ad un server e viceversa
  
- In Internet, vi sono due protocolli di trasporto, **TCP e UDP**
  - ❖ TCP è un protocollo orientato alla connessione, che offre la garanzia di consegna a destinazione del messaggio, un controllo di flusso, un meccanismo di frammentazione ed un meccanismo di controllo della congestione
  - ❖ UDP è un protocollo senza connessione

# Strato di rete

- ❑ Lo strato di rete è responsabile dell'instradamento dei datagrammi da un host all'altro
- ❑ Lo strato di rete Internet realizza un protocollo: **IP**
- ❑ Lo strato di rete Internet può contenere anche altri protocolli di instradamento, quali **RIP, OSPF e BGP**

# Strato di rete



- ❑ Lo scopo del livello 3 (network) è di instradare i messaggi (routing) attraverso i nodi intermedi della sottorete di comunicazione .
- ❑ Tale livello deve:
  - ❖ Conoscere la geometria della rete (Topologia)
  - ❖ Scegliere il cammino migliore per far arrivare il messaggio alla destinazione richiesta dal trasmettitore
  - ❖ Gestire le incompatibilità di reti eterogenee
  - ❖ Gestire le congestioni di dati qualora nella sottorete siano presenti troppi pacchetti nello stesso istante

# Strato di collegamento

- ❑ Lo strato di collegamento è responsabile di trasmettere i datagrammi al successivo nodo cui sono destinati
- ❑ Lo strato di collegamento opera su unità dati, dette **frame**, le quali contengono al loro interno informazioni che dipendono generalmente dalla tecnologia con cui sono realizzati i link, ad esempio, l'indirizzo hardware di una interfaccia di rete
- ❑ Esistono molti protocolli di collegamento utilizzati su Internet, ad esempio **Ethernet o PPP**

# Strato fisico

- ❑ Il compito dello strato fisico è quello di muovere ogni singolo bit di un frame dalla sorgente alla destinazione
- ❑ Spesso, lo strato fisico è realizzato principalmente con hardware
- ❑ Esempi di protocolli dello strato fisico di Internet sono i protocolli di Ethernet per la comunicazione su mezzo fisico
  - ❖ Ethernet su doppino telefonico
  - ❖ Ethernet su cavo coassiale
  - ❖ Ethernet su fibra ottica
  - ❖ ...

# Capitolo 1: roadmap

## 1.1 Cos'è Internet?

## 1.2 Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

## 1.3 Il nucleo della rete

- commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete

## 1.4 Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

## 1.5 Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

## 1.6 Reti sotto attacco: la sicurezza

## 1.7 Storia del computer networking e di Internet

# Sicurezza di rete

- ❑ Il campo della sicurezza di rete si occupa di:
  - ❖ malintenzionati che attaccano le reti di calcolatori
  - ❖ come difendere le reti dagli attacchi
  - ❖ come progettare architetture immuni da attacchi
- ❑ Internet non fu inizialmente progettato per la sicurezza
  - ❖ *Visione originaria:* "un gruppo di utenti che si fidavano l'uno dell'altro collegati a una rete trasparente" 😊
  - ❖ I progettisti del protocollo Internet stanno recuperando
  - ❖ Un occhio alla sicurezza in tutti i livelli

# I malintenzionati installano malware negli host attraverso Internet

- ❑ Il malware può raggiungere gli host attraverso **virus, worm, o cavalli di Troia**.
- ❑ **Malware di spionaggio** può registrare quanto viene digitato, i siti visitati e informazioni di upload.
- ❑ Gli host infettati possono essere "arruolati" in **botnet**, e usati per lo spamming e per gli attacchi di DDoS.
- ❑ Il malware è spesso **auto-replicante**: da un host infettato può passare ad altri host

# I malintenzionati installano malware negli host attraverso Internet

## □ Cavalli di Troia

- ❖ Parte nascosta di un software utile
- ❖ Oggi si trova spesso su alcune pagine web (Active-X, plugin)...

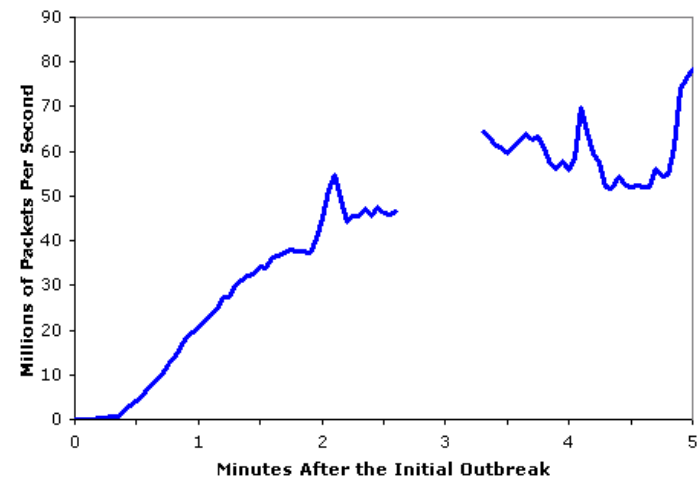
## □ Virus

- ❖ L'infezione proviene da un oggetto ricevuto (attachment di e-mail), e mandato in esecuzione
- ❖ Auto-replicante: si propaga da solo ad altri host e utenti

## □ Worm:

- ❖ L'infezione proviene da un oggetto passivamente ricevuto che si auto-esegue
- ❖ Auto-replicante: si propaga da solo ad altri host e utenti

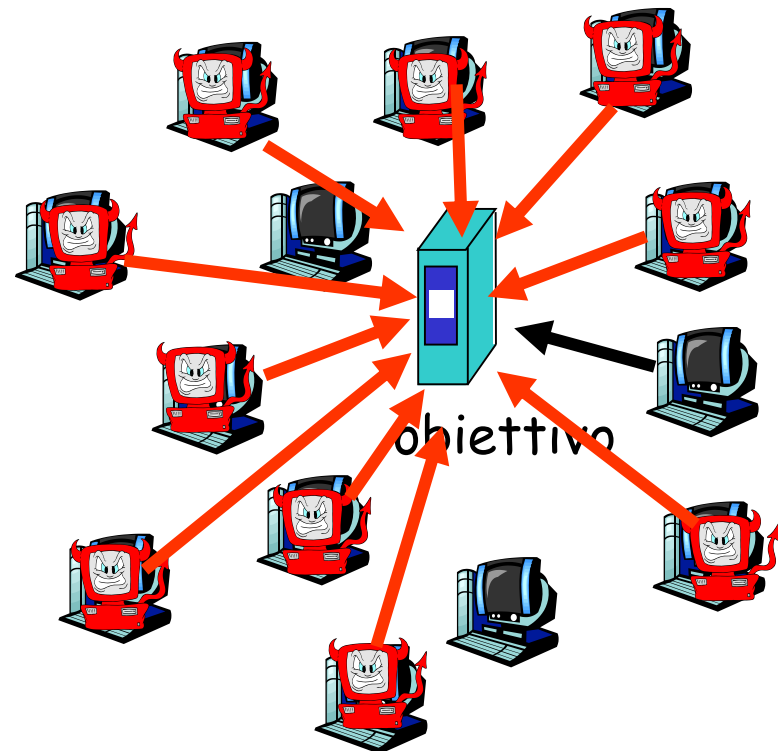
Worm Sapphire : scans/sec aggregati nei primi 5 minuti di diffusione (CAIDA, UWisc data)



# I malintenzionati attaccano server e infrastrutture di rete

- Negazione di servizio (DoS): gli attaccanti fanno sì che le risorse (server, ampiezza di banda) non siano più disponibili al traffico legittimo sovraccaricandole di traffico artefatto

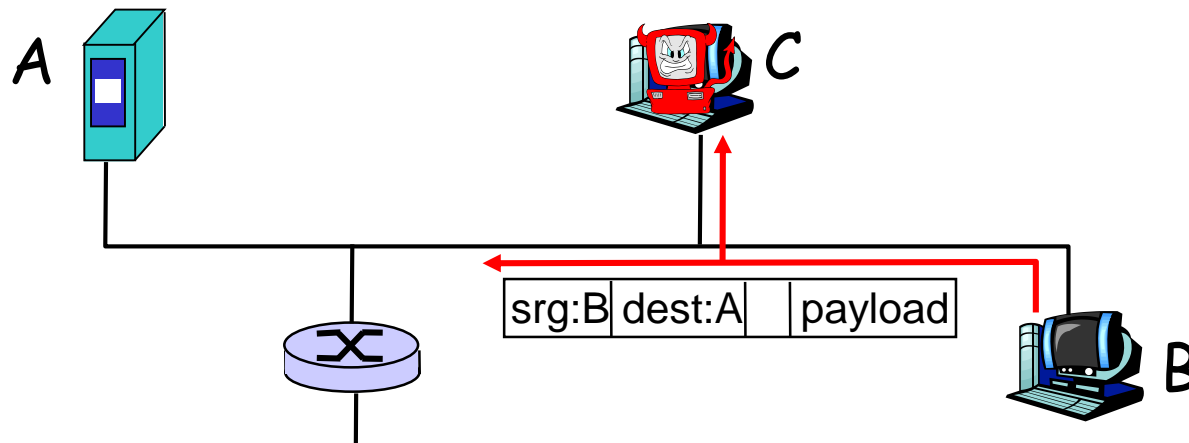
1. Selezione dell'obiettivo
2. Irruzione negli host attraverso la rete
3. Invio di pacchetti verso un obiettivo da parte degli host compromessi



# I malintenzionati analizzano i pacchetti

## Analisi dei pacchetti (*packet sniffing*):

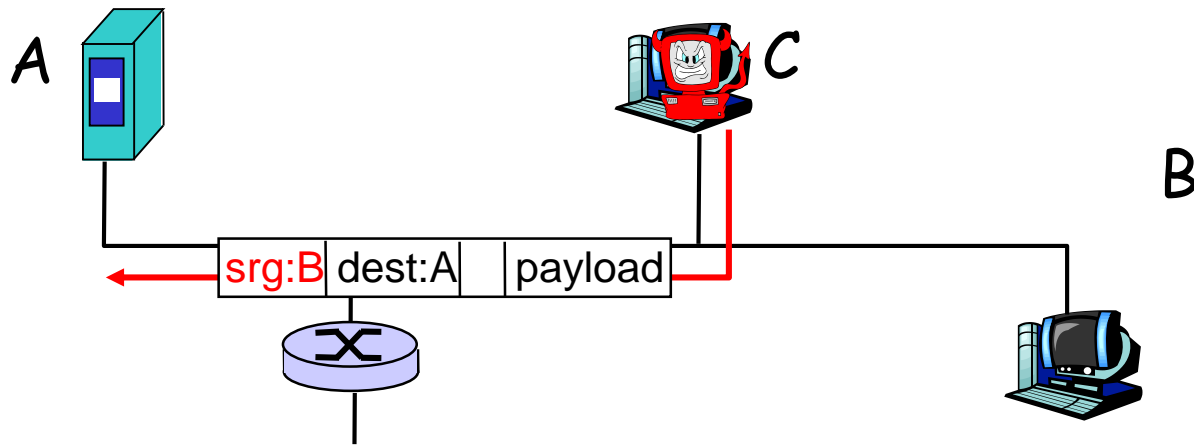
- ❖ media broadcast (Ethernet condivisa, wireless)
- ❖ un'interfaccia di rete legge/registra tutti i pacchetti (password comprese!) che l'attraversano



- ❖ Il software usato per il Laboratorio alla fine di questo capitolo è un packet-sniffer (gratis!)

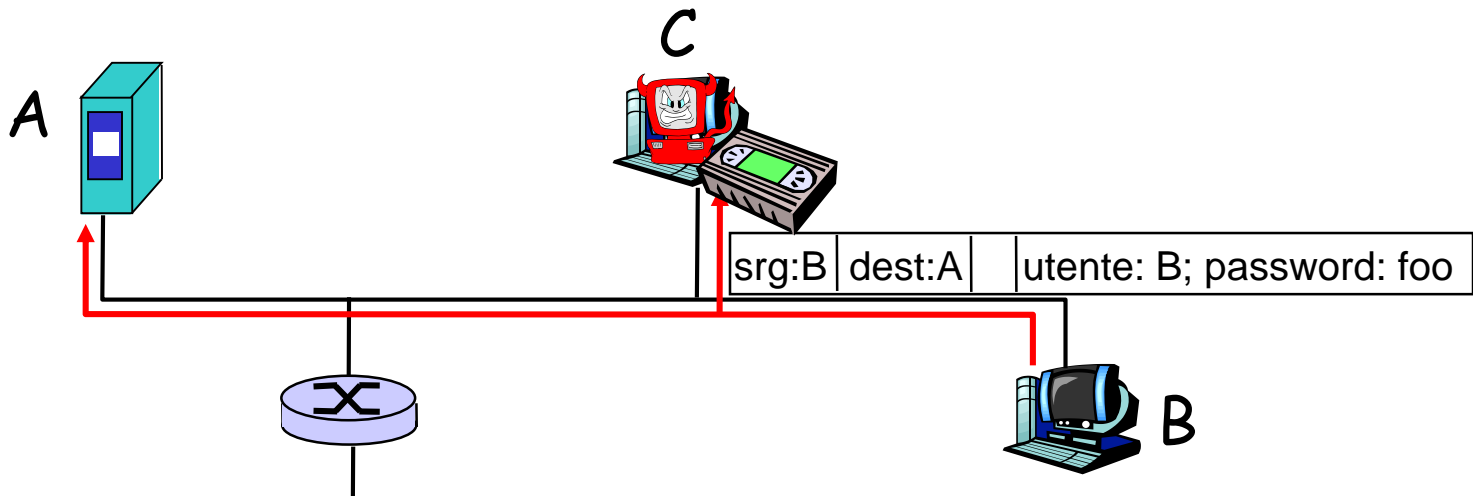
# I malintenzionati usano indirizzi sorgente falsi

- ❑ *IP spoofing*: invio di pacchetti con un indirizzo sorgente falso



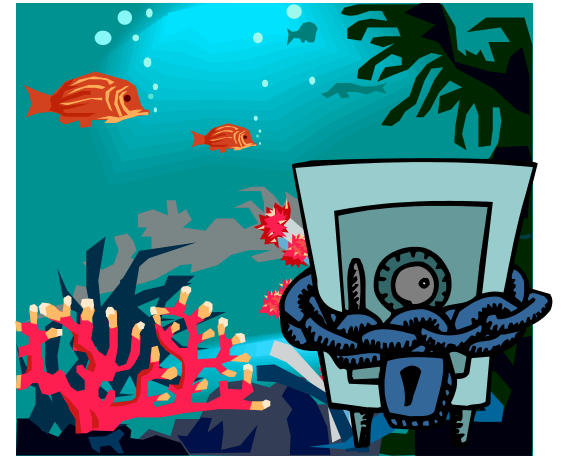
# I malintenzionati registrano e riproducono

- *record-and-playback*: "sniffano" dati sensibili (password, ad esempio), per poi utilizzarli in un secondo tempo



# Obiettivo della sicurezza

- ❑ Obiettivo della Sicurezza non è eliminare il rischio totalmente ma "ridurlo" a livelli accettabili
- ❑ Un PC chiuso in una cassaforte senza chiave in fondo al mare è sicuro ma non è più utilizzabile!



# Sicurezza di rete

- ❑ Maggiore approfondimento nel seguito di questo libro
- ❑ Capitolo 8: interamente dedicato alla sicurezza
- ❑ Tecniche crittografiche: utilizzi ovvi e utilizzi non così ovvi

# Capitolo 1: roadmap

## 1.1 Cos'è Internet?

## 1.2 Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

## 1.3 Il nucleo della rete

- commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete

## 1.4 Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

## 1.5 Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

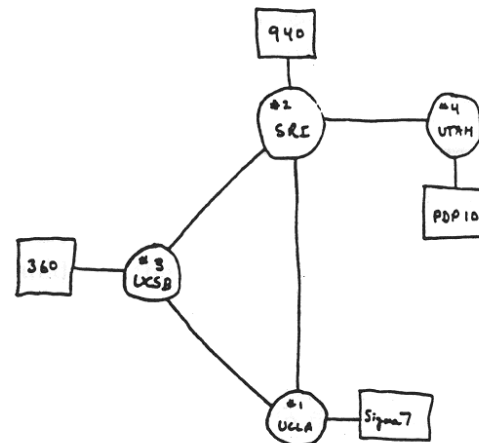
## 1.6 Reti sotto attacco: la sicurezza

## 1.7 Storia del computer networking e di Internet

# Storia di Internet

## 1961-1972: sviluppo della commutazione di pacchetto

- ❑ 1961: Kleinrock - la teoria delle code dimostra l'efficacia dell'approccio a commutazione di pacchetto
- ❑ 1964: Baran - uso della commutazione di pacchetto nelle reti militari
- ❑ 1967: il progetto ARPAnet viene concepito dall'Advanced Research Projects Agency
- ❑ 1969: primo nodo operativo ARPAnet
  - ❖ IMP (interface message processor), 45 Kbps, memoria: 12 KB
- ❑ 1972:
  - ❖ dimostrazione pubblica di ARPAnet
  - ❖ NCP (Network Control Protocol), primo protocollo tra nodi
  - ❖ Primo programma di posta elettronica
  - ❖ ARPAnet ha 15 nodi



# Storia di Internet

## *1972-1980: Internetworking e reti proprietarie*

- ❑ **1970:** rete satellitare ALOHAnet che collega le università delle Hawaii
- ❑ **1974:** Cerf e Kahn - architettura per l'interconnessione delle reti
- ❑ **1976:** Ethernet allo Xerox PARC
- ❑ **Fine anni '70:** architetture proprietarie: DECnet, SNA, XNA
- ❑ **Fine anni '70:** commutazione di pacchetti: ATM ante-litteram
- ❑ **1979:** ARPAnet ha 200 nodi

### *Le linee guida di Cerf e Kahn sull'internetworking:*

- ❖ minimalismo, autonomia - per collegare le varie reti non occorrono cambiamenti interni
  - ❖ modello di servizio best effort
  - ❖ router stateless
  - ❖ controllo decentralizzato
- definiscono l'attuale architettura di Internet*

# Storia di Internet

## *1980-1990: nuovi protocolli, proliferazione delle reti*

- ❑ 1983: rilascio di TCP/IP
- ❑ 1982: definizione del protocollo smtp per la posta elettronica
- ❑ 1983: definizione del DNS per la traduzione degli indirizzi IP
- ❑ 1985: definizione del protocollo ftp
- ❑ 1988: controllo della congestione TCP
- ❑ nuove reti nazionali: Cernet, BITnet, NSFnet, Minitel
- ❑ 100.000 host collegati

# Storia di Internet

## *1990-2000: commercializzazione, Web, nuove applicazioni*

- ❑ Primi anni '90: ARPAnet viene dismessa
  - ❑ 1991: NSF lascia decadere le restrizioni sull'uso commerciale di NSFnet
  - ❑ Primi anni '90: il Web
    - ❖ ipertestualità [Bush 1945, Nelson 1960's]
    - ❖ HTML, HTTP: Berners-Lee
    - ❖ 1994: Mosaic, poi Netscape
  - ❑ Fine '90 : commercializzazione del Web
- Fine anni '90 - anni 2000:
    - ❑ arrivano le "killer applications": messaggistica istantanea, condivisione di file P2P, VoIP
    - ❑ sicurezza di rete
    - ❑ 50 milioni di host, oltre 100 milioni di utenti
    - ❑ velocità nelle dorsali dell'ordine di Gbps

# Storia di Internet

2012:

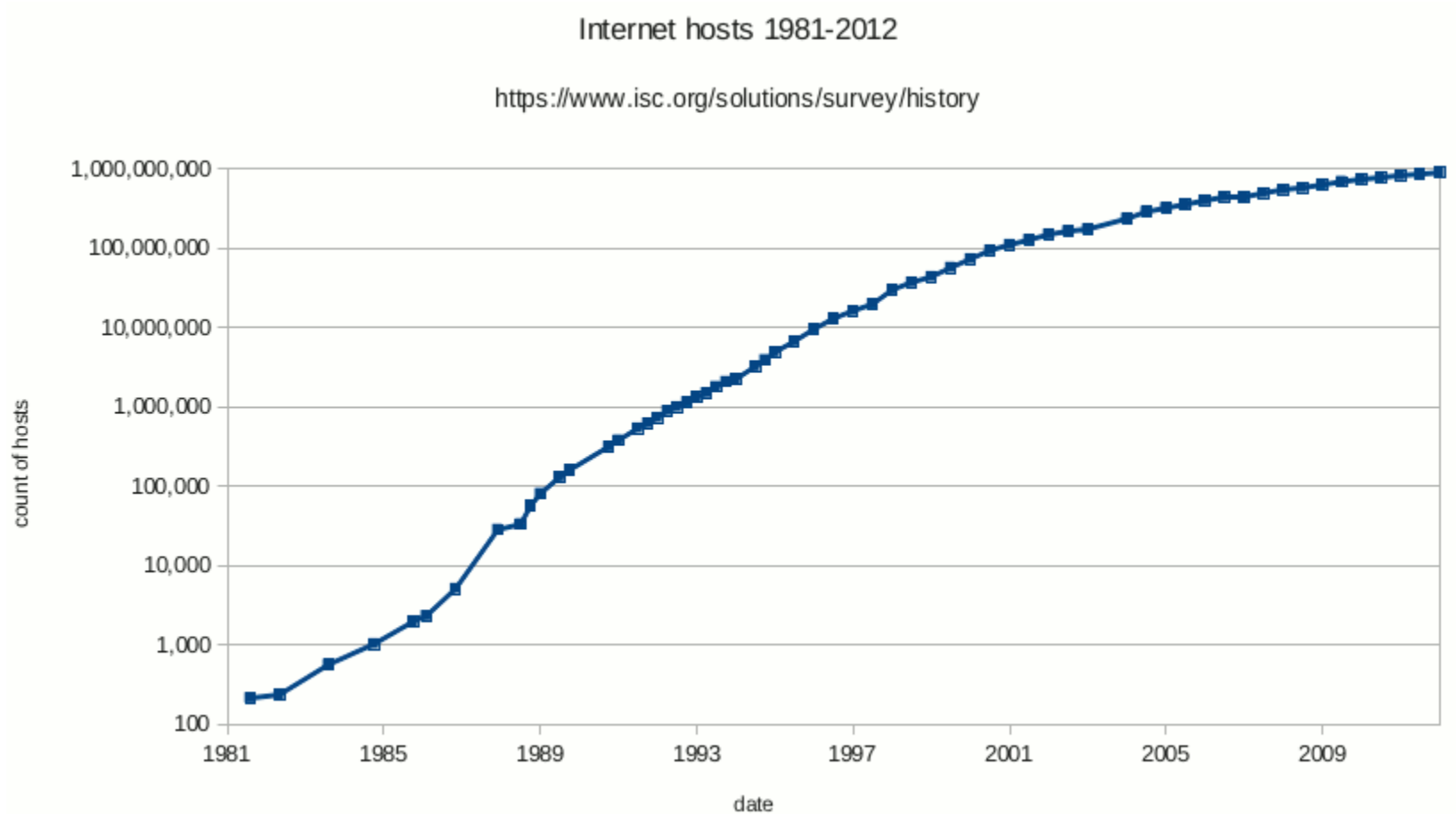
- ❑ ~ 900 milioni di host
  - ❖ Smart phone e tablet
- ❑ Social network: Facebook...
- ❑ Wireless, mobilità
- ❑ Ampio uso della banda larga
  - ❖ Cloud computing
- ❑ Service Provider
  - ❖ Google, Microsoft creano le loro reti

# Storia di Internet

## Web2.0

- ❑ Il Web 2.0 rappresenta una ulteriore rivoluzione nell'ambito del web tradizionale.
- ❑ Nel Web tradizionale è netta la distinzione tra autore ed editore, il web inteso come servizio di informazione è gestito da pochi autori e molti lettori.
- ❑ Nel Web 2.0 questa distinzione viene meno, chiunque nel web può essere allo stesso tempo autore e pubblicare contenuti ("user generated content"). Attraverso le "comunità virtuali" gruppi di persone condividono interessi comuni e si tengono in contatto.
- ❑ Questa nuova forma di comunicazione sociale è attentamente seguita e studiata in diversi settori : politico, commerciale, sociologico etc....

# Storia di Internet



# Riassunto

## Abbiamo visto un sacco di argomenti!

- ❑ Panoramica di Internet
- ❑ Cos'è un protocollo?
- ❑ Ai confini e nel cuore delle reti
  - ❖ Commutazione di pacchetto e commutazione di circuito
  - ❖ Struttura di Internet
- ❑ Prestazioni: perdite, ritardo, throughput
- ❑ Stratificazioni e modelli di servizio
- ❑ Sicurezza
- ❑ Cenni storici

## Adesso siete in grado di:

- ❑ contestualizzare, fornire una panoramica sulle reti, avere un'idea precisa di che cosa si intende per "networking"
- ❑ maggiori approfondimenti e dettagli *nei prossimi capitoli!*