

Reti (Computer Networks)

Introduzione alle reti

Docente: Paolo Casari

TA: Andrea Rosani

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 (Breve) Storia del computer networking e di Internet

Che cos'è Internet?



PC



server



Portatile



Telefono
cellulare



Punti di
accesso

— Collegamento
via cavo



router

- Milioni di dispositivi collegati:

host = sistema terminale

- *Applicazioni di rete*

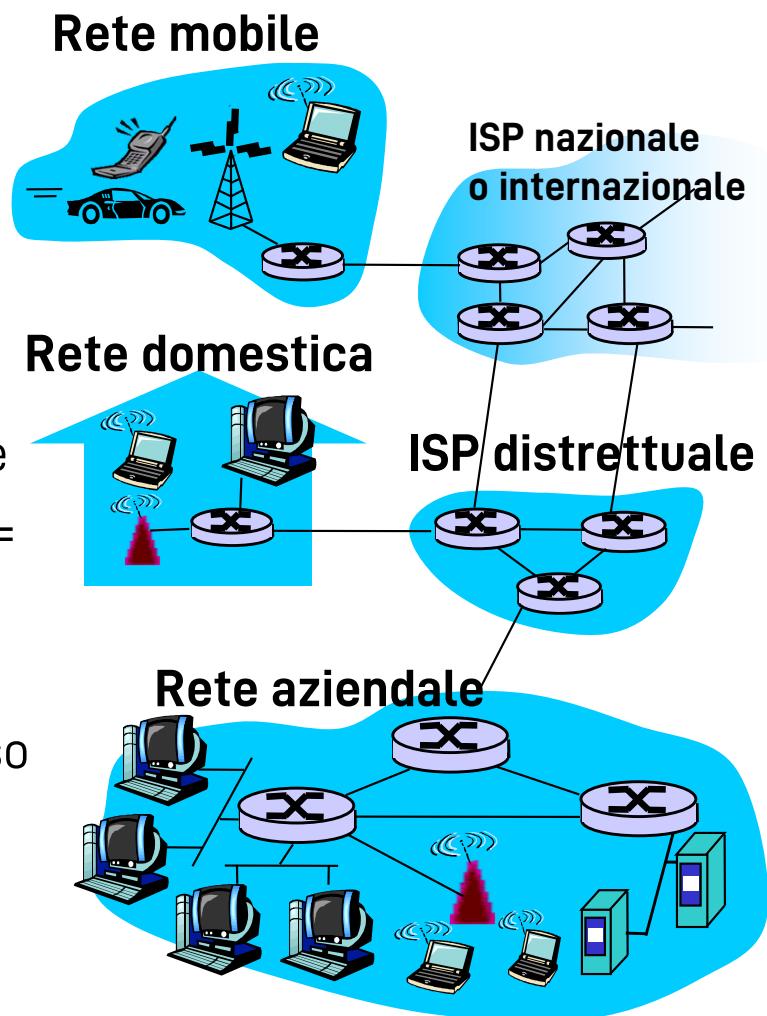
- *Collegamenti*

- ❖ Rame, fibra ottica, onde elettromagnetiche, satellite

- ❖ Frequenza di trasmissione =
ampiezza di banda

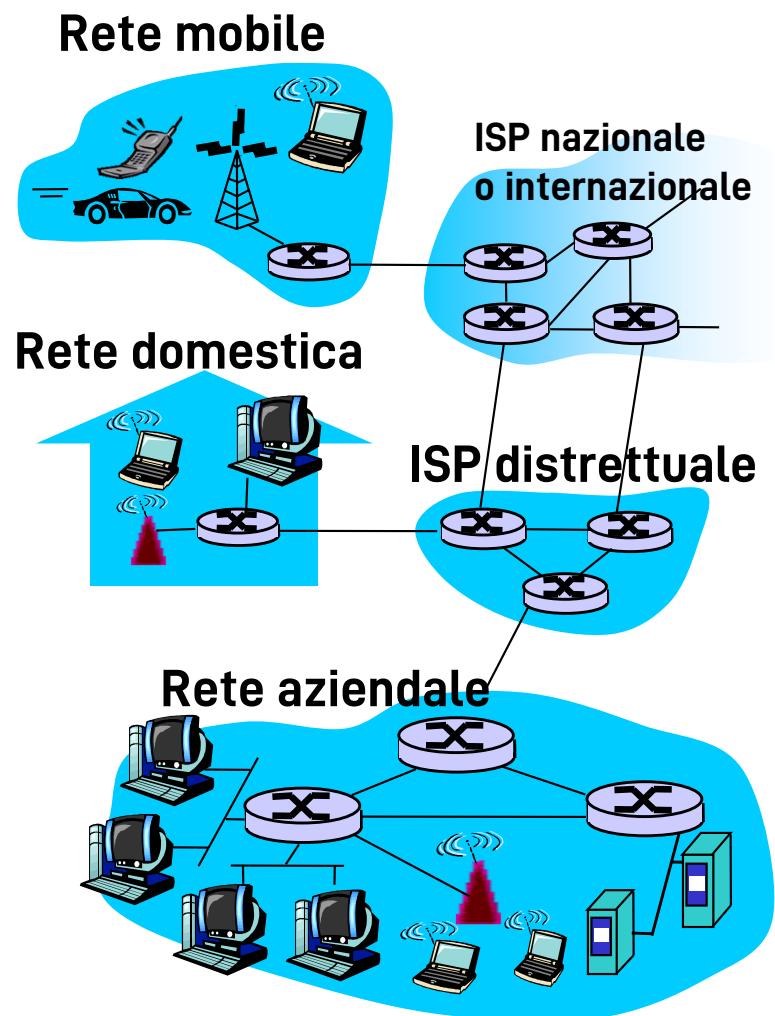
- *Router*: instrada i pacchetti verso la loro destinazione finale

- *ISP*: Internet Service Provider



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



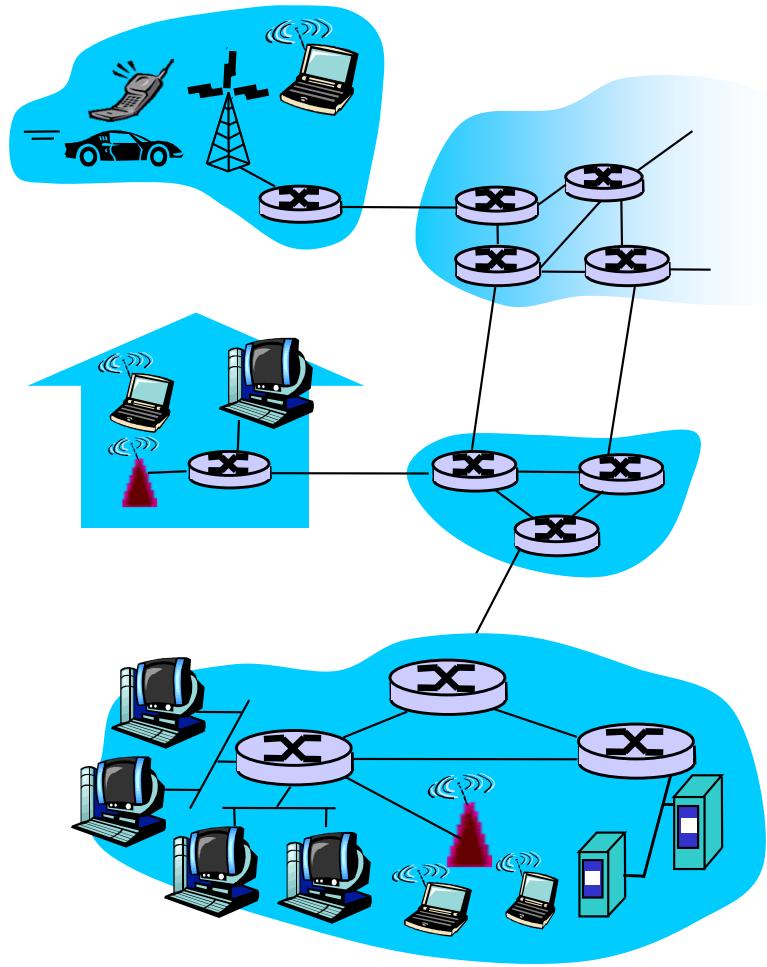
Cos'è Internet

- **Infrastruttura di comunicazione** per applicazioni distribuite:

- ❖ Web, VoIP, e-mail, giochi, database e-commerce, condivisione di file, streaming, virtual/augmented reality...
- ❖ Smartphone apps: messaggistica istantanea, meteo, traffico su strada, cloud music, video streaming...

- **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

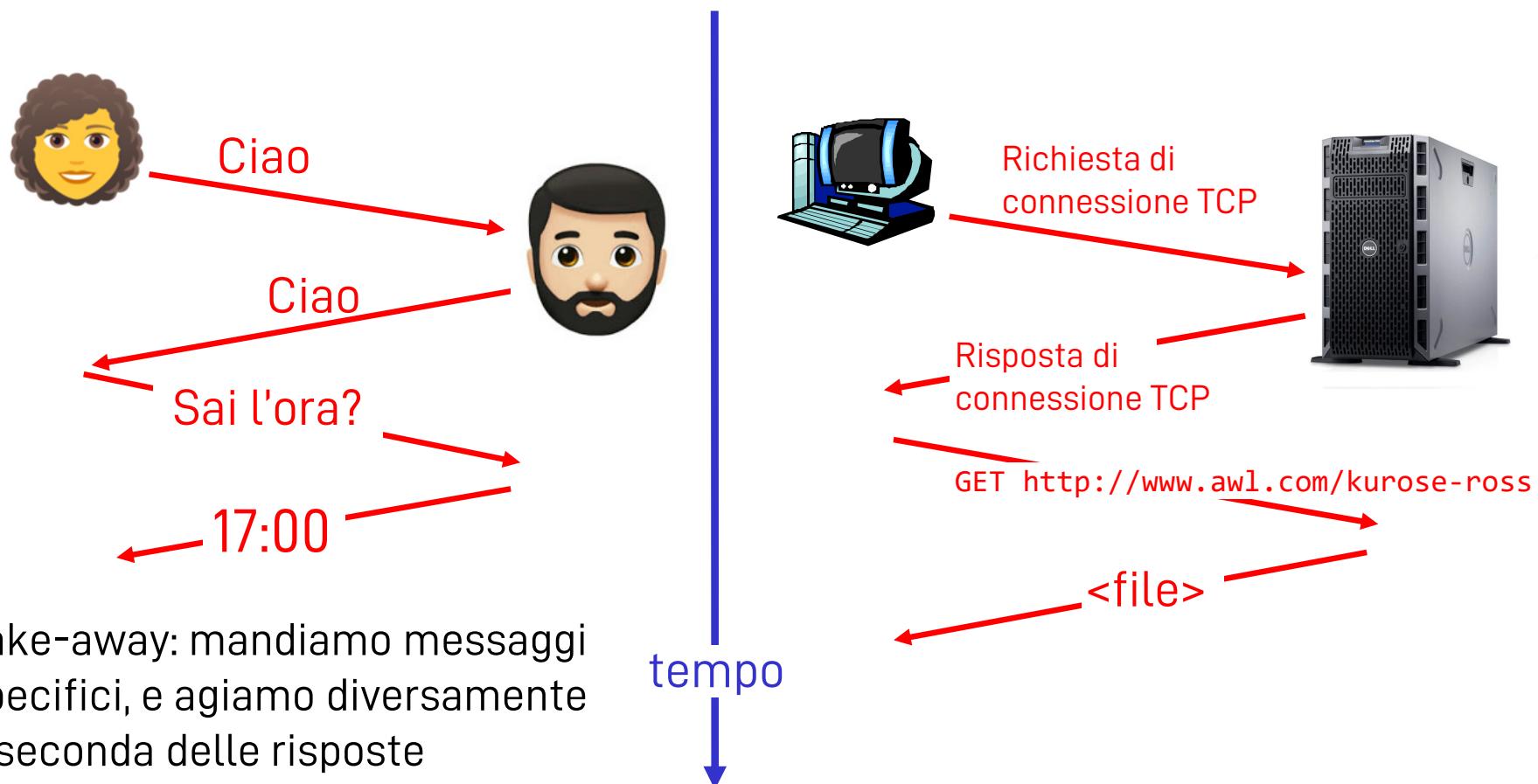
Protocolli di rete:

- 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



Take-away: mandiamo messaggi specifici, e agiamo diversamente a seconda delle risposte

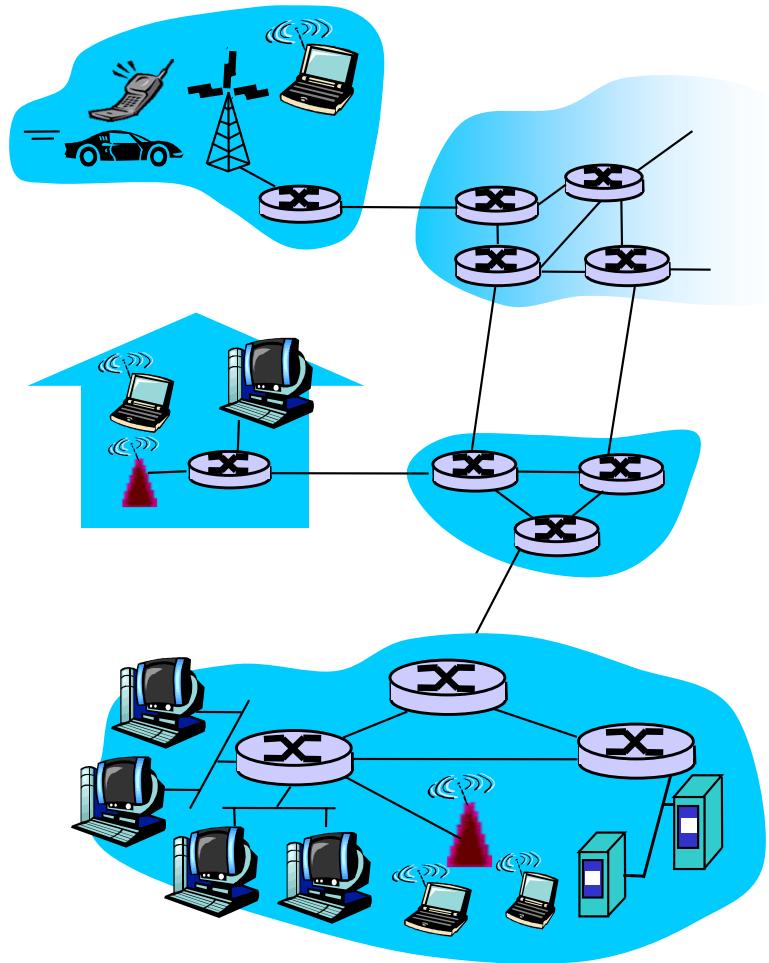
D: Conoscete altri protocolli umani?

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
 - Comutazione 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 (Breve) Storia del computer networking e di Internet

Uno sguardo da vicino alla struttura di rete

- Ai confini della rete:
Applicazioni e sistemi terminali
- Reti, dispositivi fisici:
Collegamenti cablati e wireless
- Al centro della rete:
 - ❖ Router interconnessi
 - ❖ La rete delle reti



Ai confini della rete

Sistemi terminali (host):

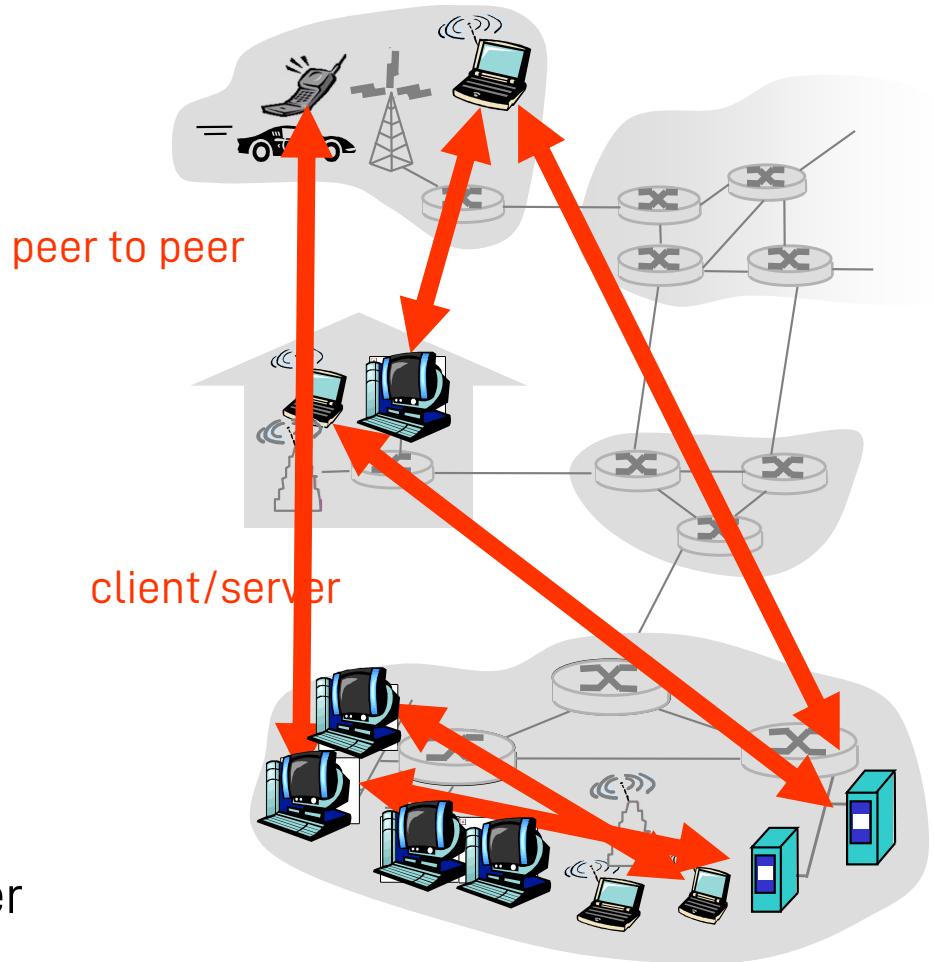
- ❖ Fanno girare programmi applicativi
- ❖ Es.: Web, e-mail
- ❖ Situati all'estremità di Internet

□ 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
- ❖ **D: Dove si trovano i server?**

□ Architettura peer to peer

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



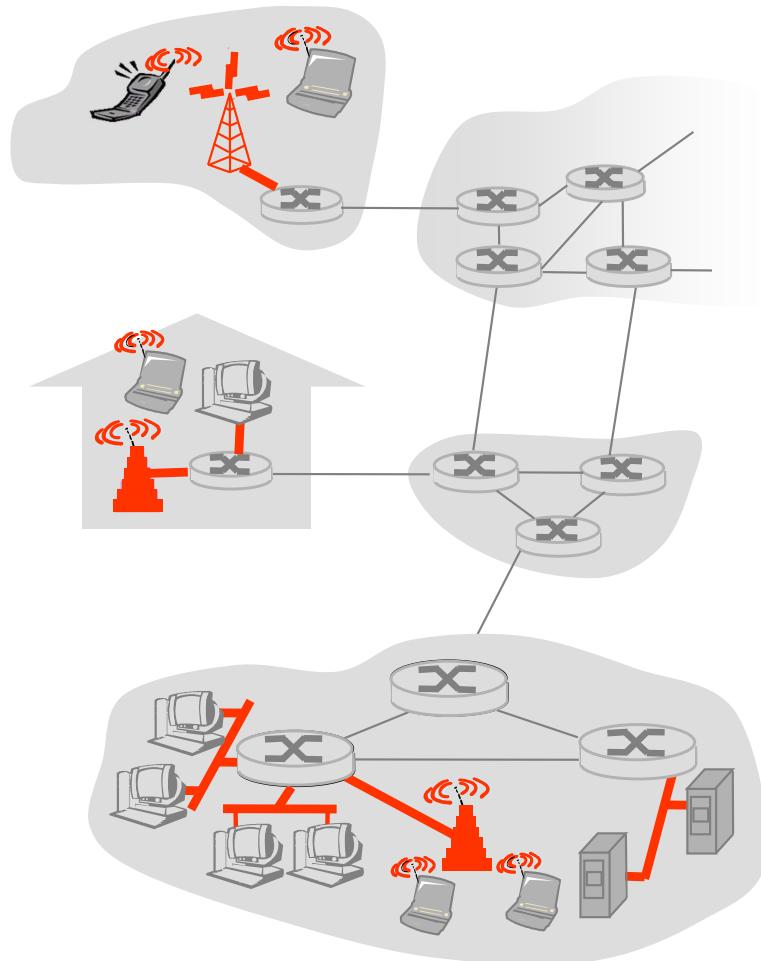
Reti d'accesso e mezzi fisici

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

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

Ricordate:

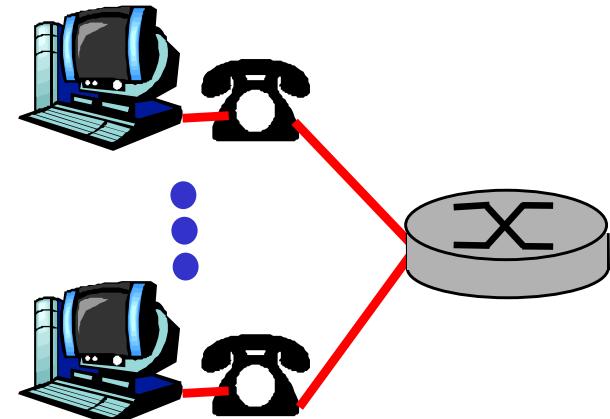
- Ampiezza di banda
(bit al secondo)?
- Risorse condivise o dedicate?



Accesso residenziale: punto-punto

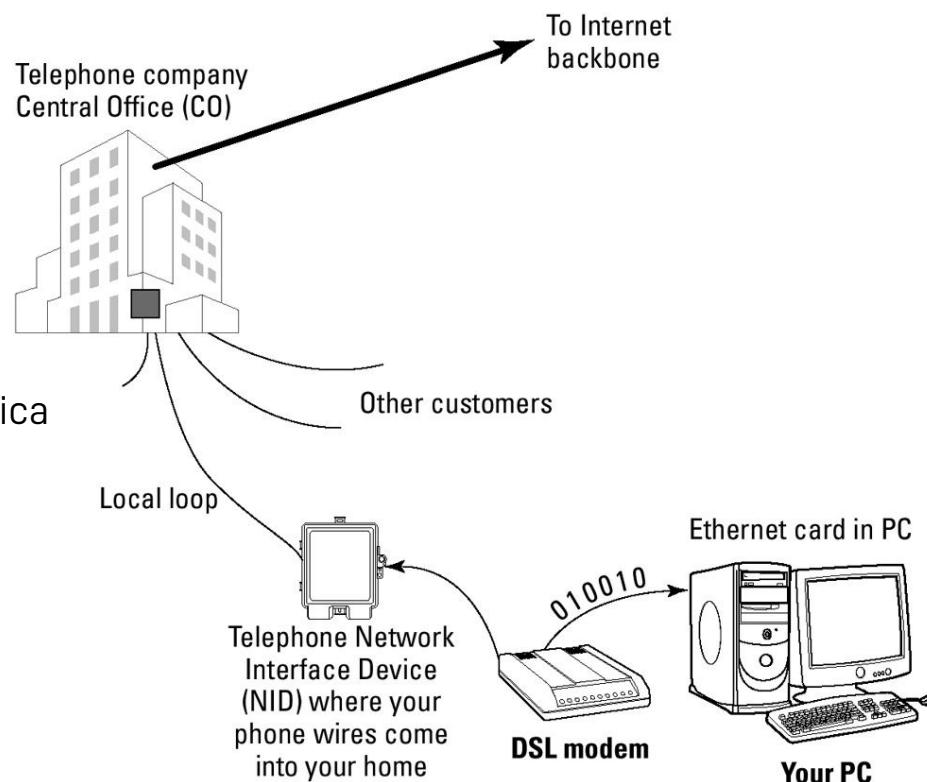
□ Modem dial-up

- ❖ Fino a 56 kbit/s e accesso diretto al router (ma spesso è inferiore)
- ❖ Non è possibile "navigare" e telefonare nello stesso momento

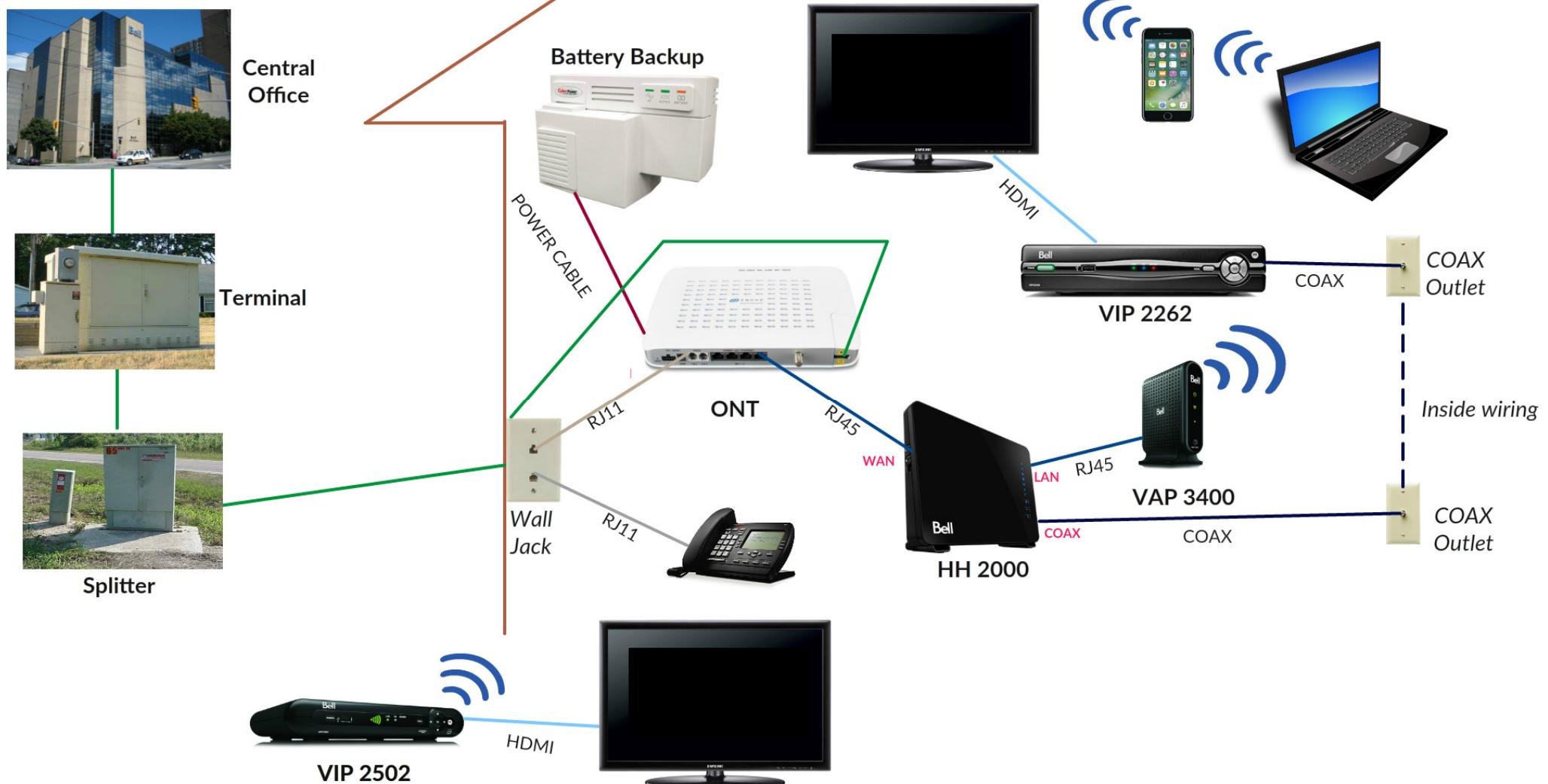


□ DSL: digital subscriber line

- ❖ Installazione:
 - In genere da parte di una società telefonica
- ❖ Fino a 1-5 Mbit/s in upstream
- ❖ Fino a 10-50 Mbit/s in downstream
- ❖ Linea dedicata

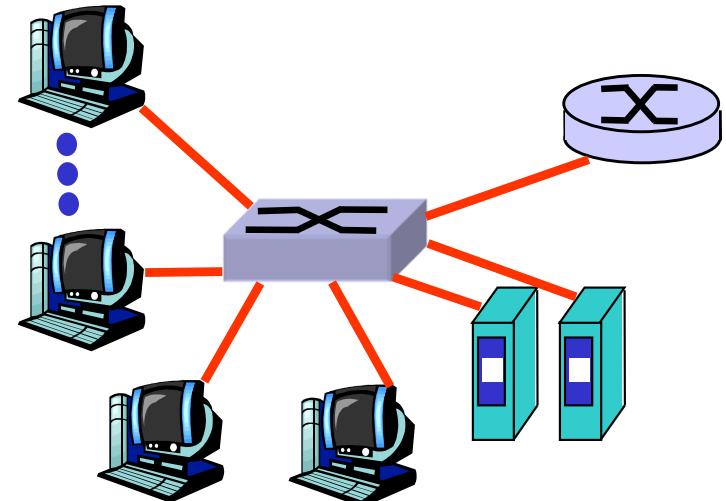
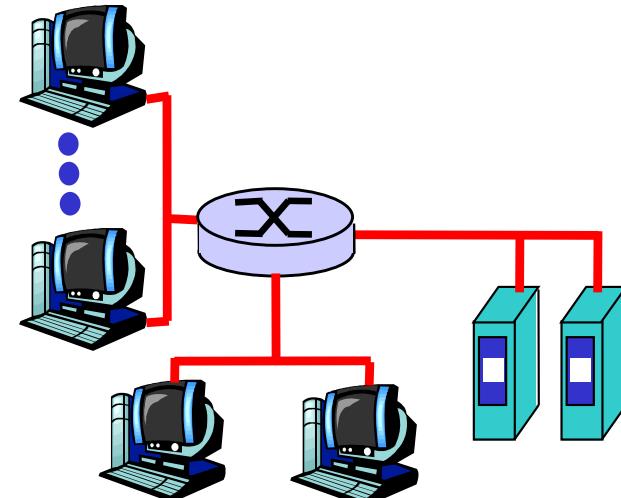


Fiber-to-the-Home (FTTH)



Accesso aziendale: reti locali (LAN)

- Una Local Area Network, o LAN, collega i sistemi terminali di aziende e università all'edge router
- **Ethernet:**
 - ❖ 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s, 10 Gbit/s
 - ❖ 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

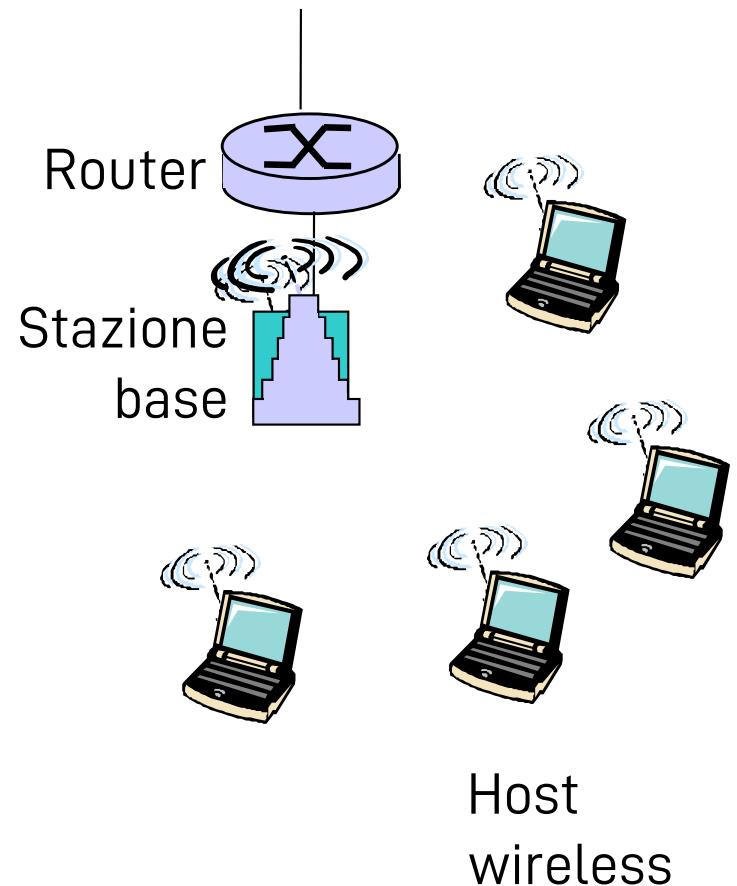
- ❖ Attraverso la stazione base, detta anche "access point"

□ LAN wireless:

- ❖ 802.11a/b/g/n/ac (WiFi): 11, 54, 100+Mbit/s

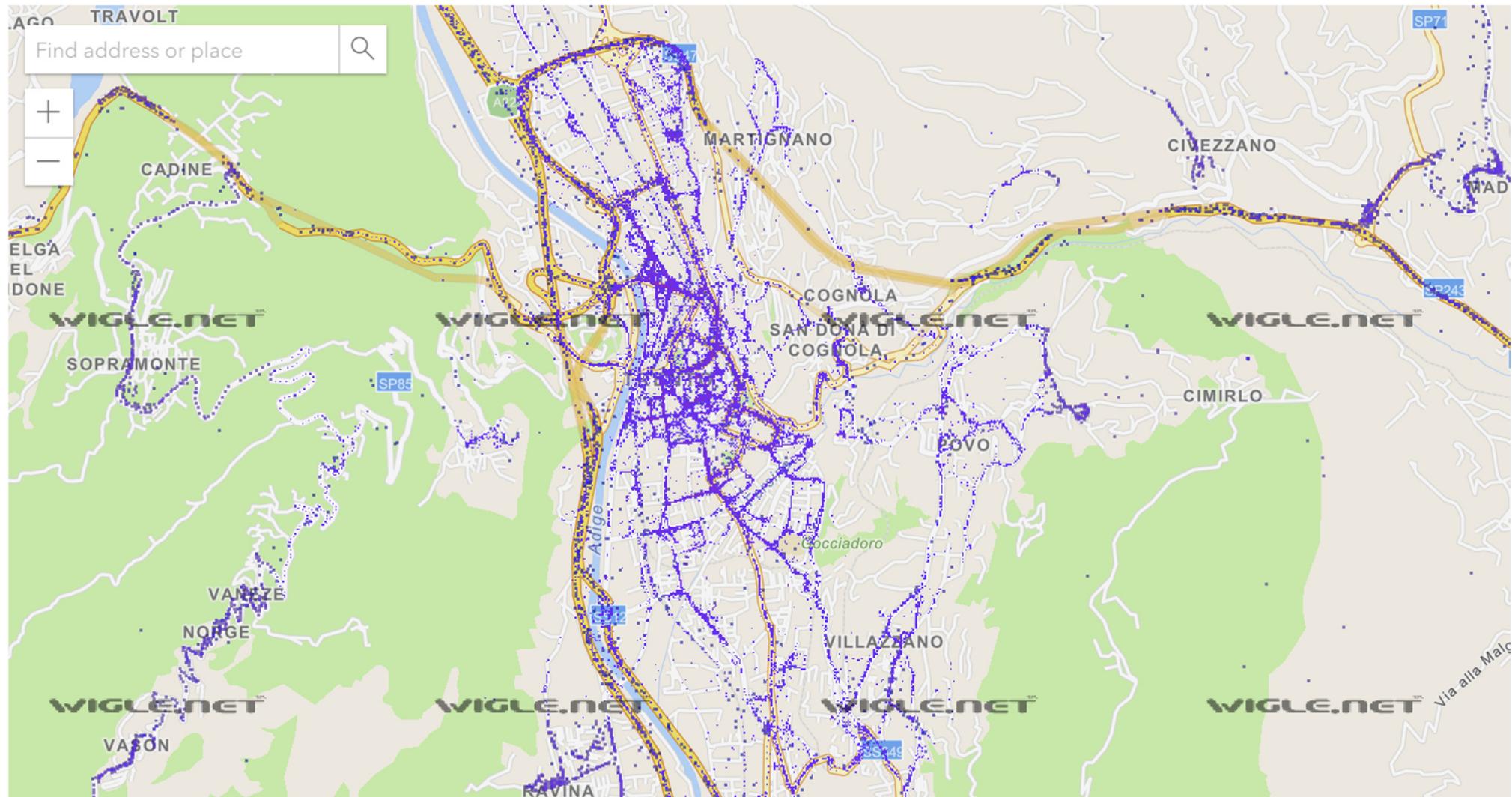
□ Rete d'accesso wireless geografica

- ❖ Gestita da un provider di telecomunicazioni
- ❖ WiMax?
- ❖ Da qualche Mbit/s per i sistemi cellulari 3G (UMTS, HSDPA) ad 1 Gbit/s (?!?)
- ❖ Oggi: 4G / 5G

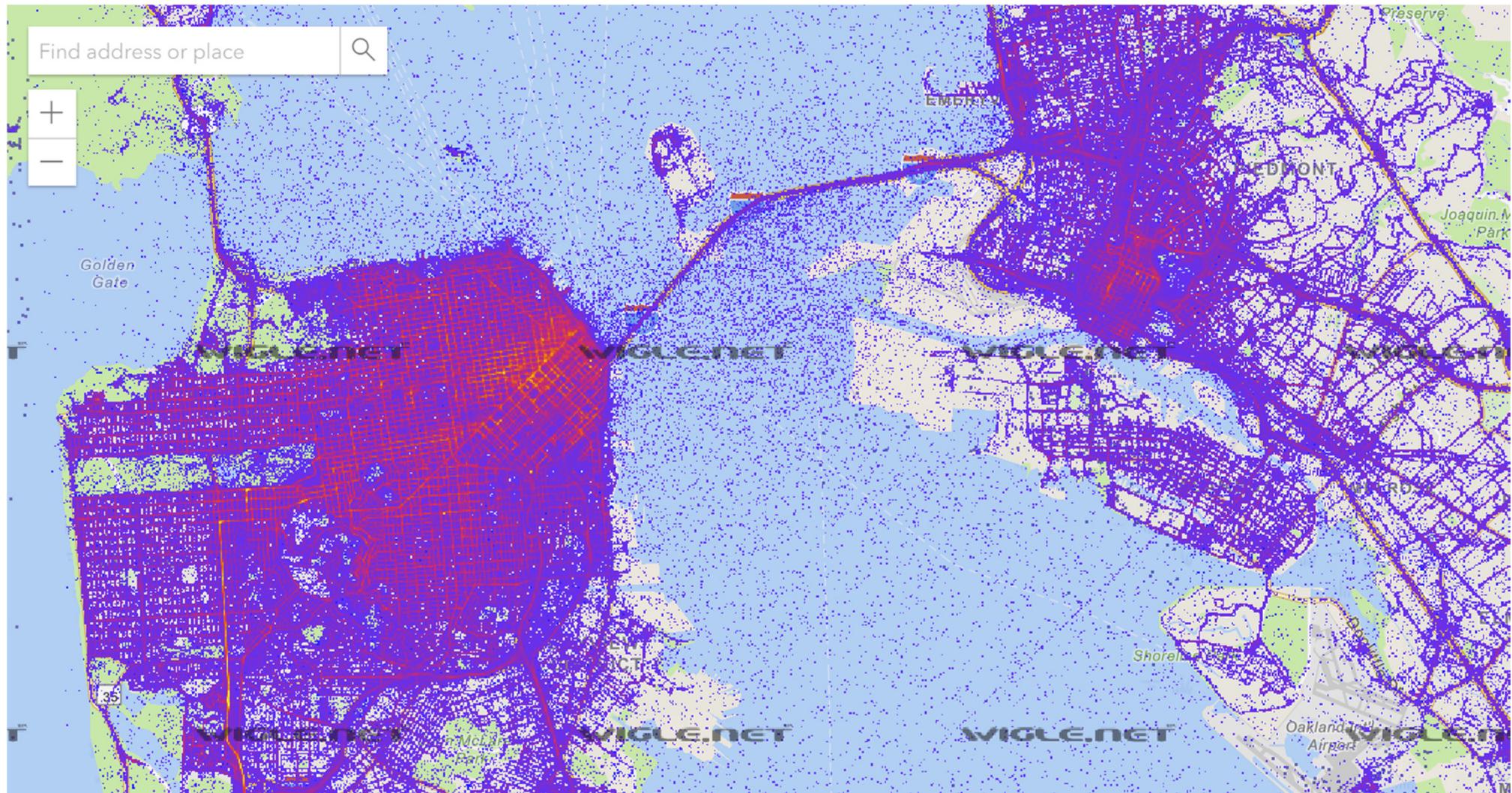


Host
wireless

wigle.net - WiFi access point mapping



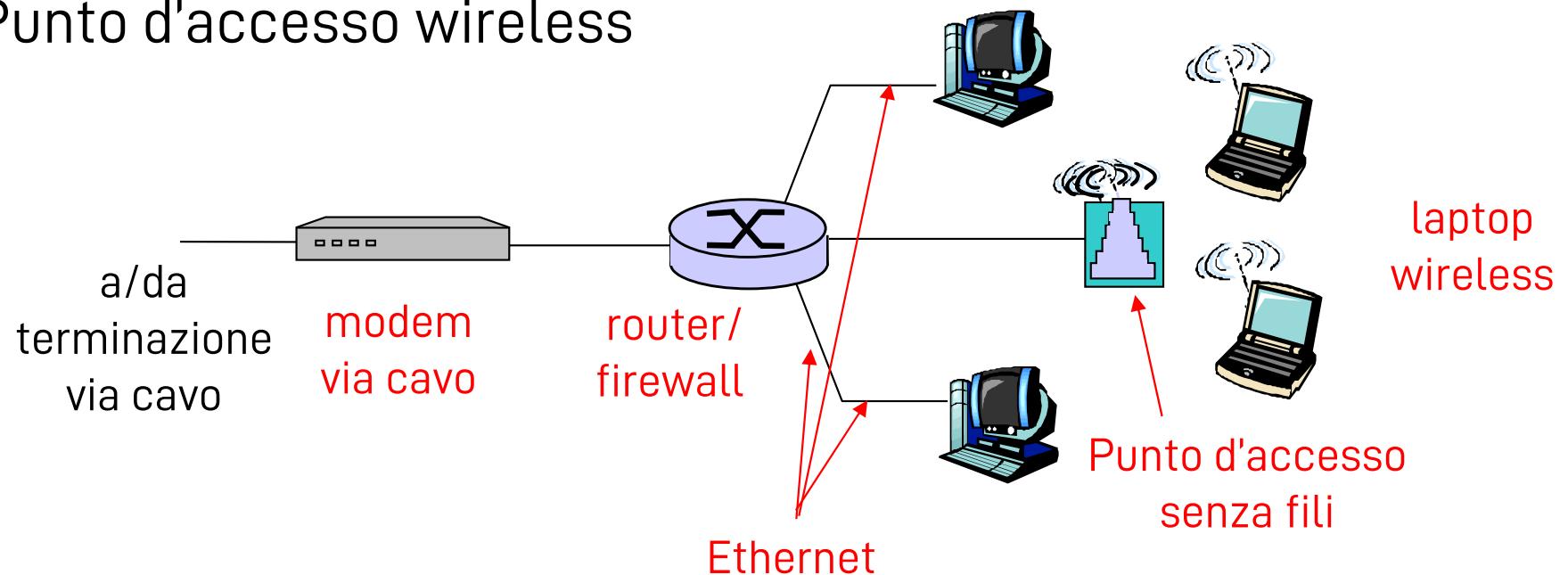
wigle.net - WiFi access point mapping



Reti domestiche

Componenti di una tipica rete da abitazione:

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



Mezzi di trasmissione e definizioni

- **Bit:** unità di informazione base 0/1, viaggia da un sistema terminale a un altro, passando per una serie di coppie trasmittente-ricevente
- **Mezzo fisico:** strumento che permette il passaggio di bit tra 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, o nello spazio esterno

Doppino intrecciato o twisted pair (TP)

- Due fili di rame avvolti
 - ❖ Tipico cavo usato per lo standard Ethernet
- Diversi tipi di schermatura
 - ❖ Nessuna (unshielded)
 - ❖ Schermatura per doppino (shielded)
 - ❖ Lamina o maglia che avvolge l'intero cavo (foiled)
 - ❖ Entrambe (screened)



1-20

Mezzi trasmittivi: cavo coassiale e fibra ottica

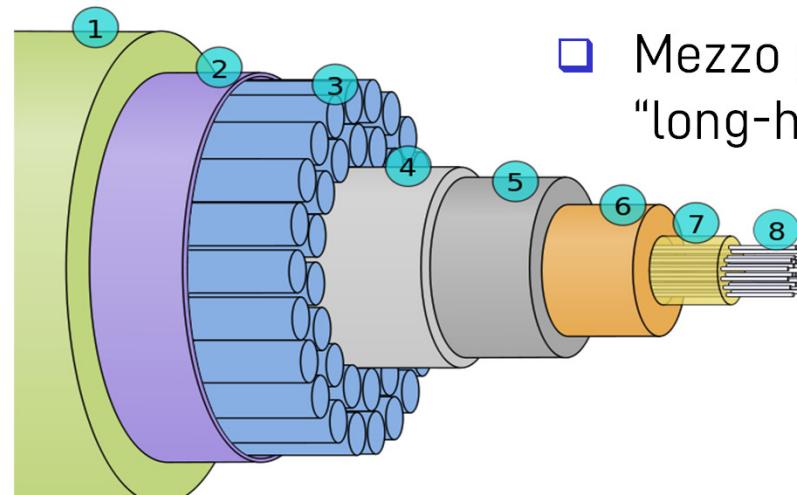
Cavo coassiale:

- Due conduttori in rame concentrici
- Bidirezionale
- Banda base:
 - ❖ Singolo canale sul cavo
 - ❖ Legacy Ethernet
- Banda larga:
 - ❖ Più canali sul cavo
 - ❖ HFC



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 Gbit/s)
- Basso tasso di errore, ripetitori distanziati, immune all'interferenza elettromagnetica
- Mezzo preferito per collegamenti "long-haul"



Mezzi trasmittivi: 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 Mbit/s
- LAN (es.: WiFi)
 - ❖ 11 Mbit/s, 54 Mbit/s, 100+ Mbit/s
- Wide-area (es.: cellulari)
 - ❖ 3G: ~1 Mbit/s, HSDPA: ~14.4 Mbit/s
 - ❖ LTE: 100 Mbit/s
 - ❖ 5G: ?
- Satellitari
 - ❖ Canali fino a 45 Mbit/s (o sottomultipli)
 - ❖ Ritardo punto-punto di > 200 ms
 - ❖ Geostazionari (GEO) a 36.000 km
 - ❖ Low-earth orbit (LEO) a bassa quota

Esercizio

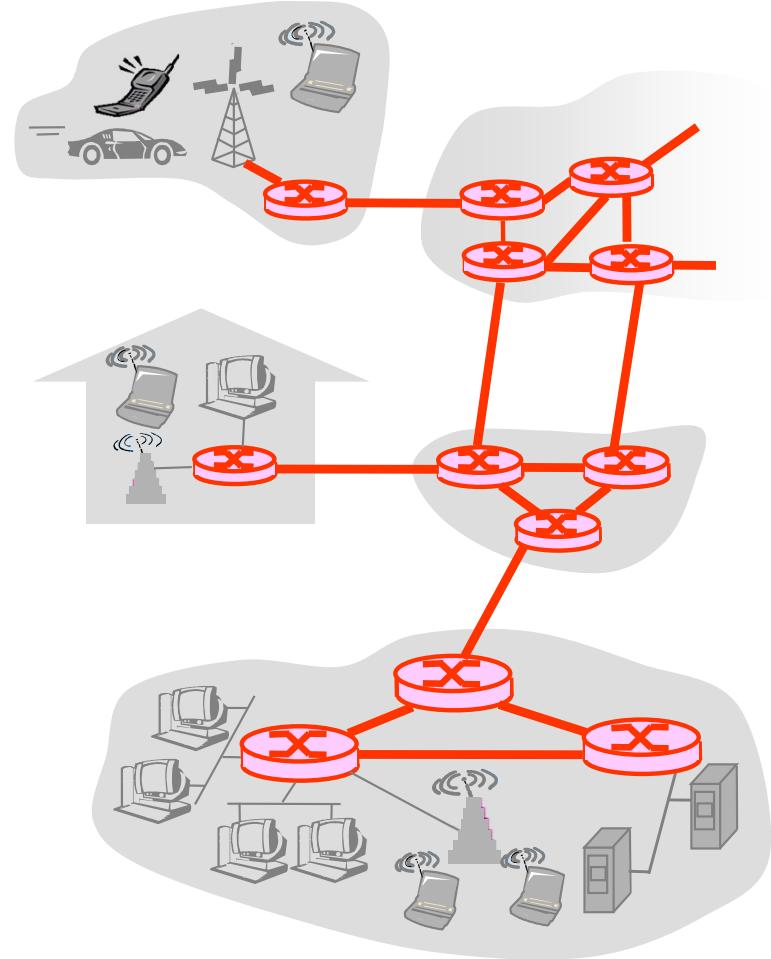
- Provate a misurare la velocità della vostra connessione ad Internet (ad es., usate <http://www.speedtest.net/>)
- **D: è quella dichiarata dal vostro ISP? Se no, come mai?**

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
 - Comutazione 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 (Breve) Storia del computer networking e di Internet

Il nucleo della rete

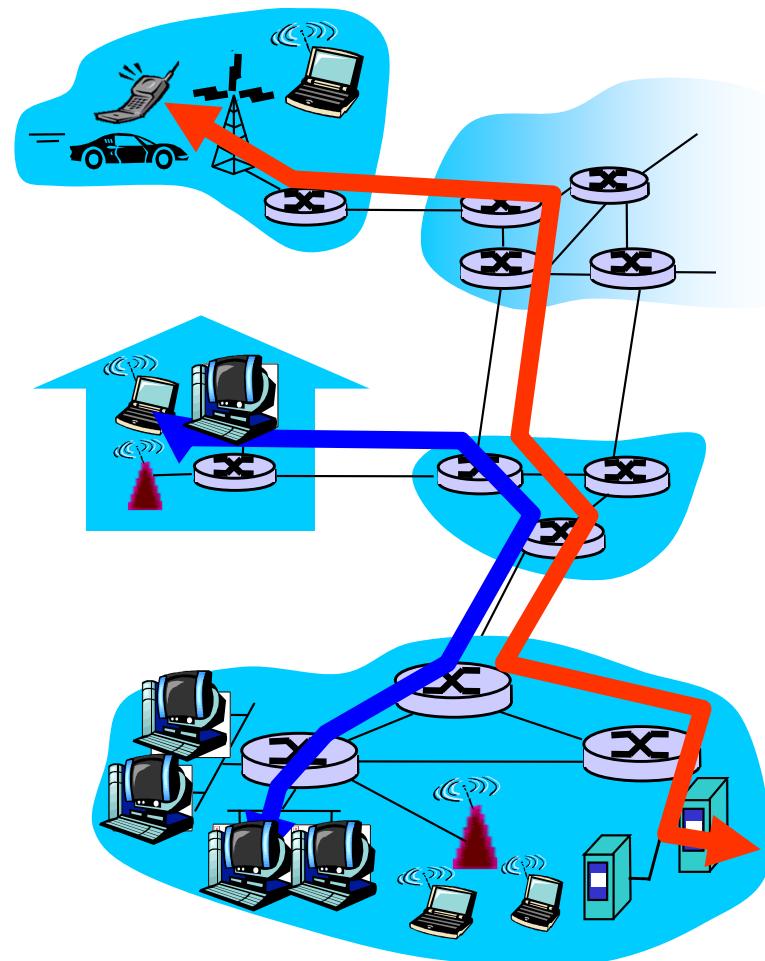
- Rete magliata di router che interconnettono i sistemi terminali
- **Il quesito fondamentale:** come vengono trasferiti i dati attraverso la rete?
 - ❖ **Commutazione di circuito:** circuito dedicato per l'intera durata della sessione (come nella rete telefonica)
 - ❖ **Commutazione di pacchetto:** 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
comunicazione

- Ampiezza di banda, capacità del commutatore
- Risorse dedicate: non c'è condivisione
- Prestazioni garantite
- Necessaria l'impostazione della connessione
 - ❖ Esempio tipico: chiamata
 - ❖ Usato anche per traffico dati

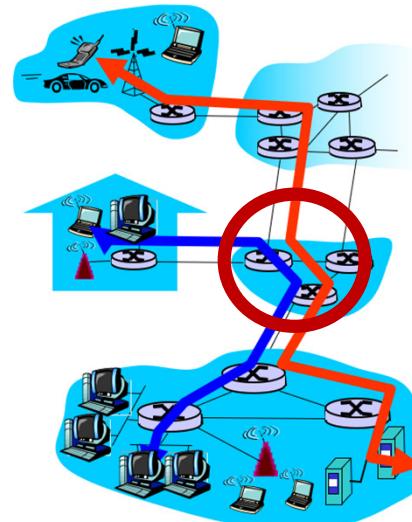


Il nucleo della rete: commutazione di circuito

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

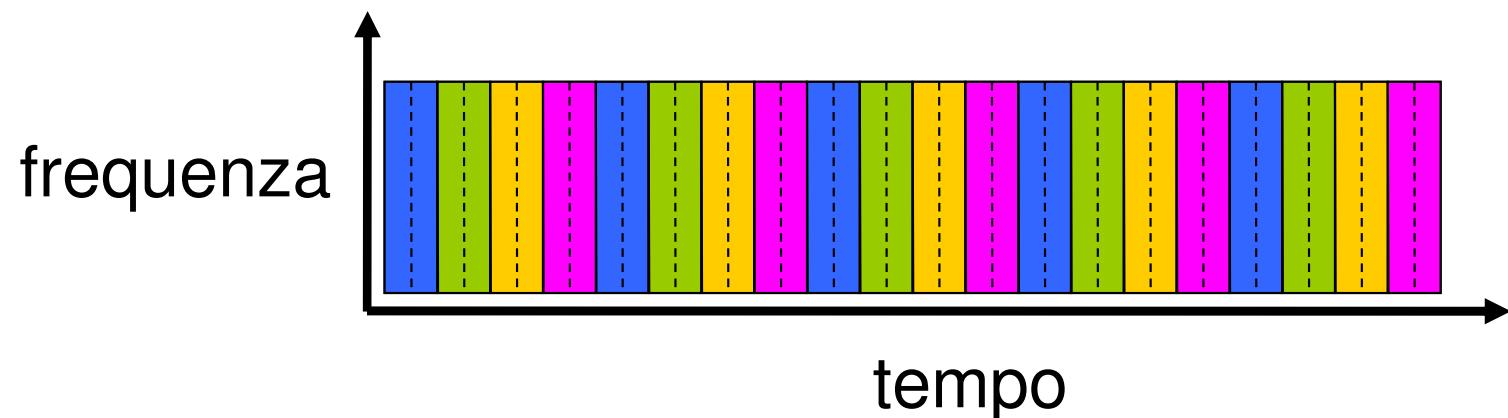
- Ciascuna "porzione" viene allocata ai vari collegamenti
- le risorse rimangono *inattive* se non utilizzate (*non c'è condivisione*)

- Suddivisione della banda in "porzioni"
 - ❖ Ripartizione della bit rate
 - ❖ Divisione di frequenza
 - ❖ Divisione di tempo

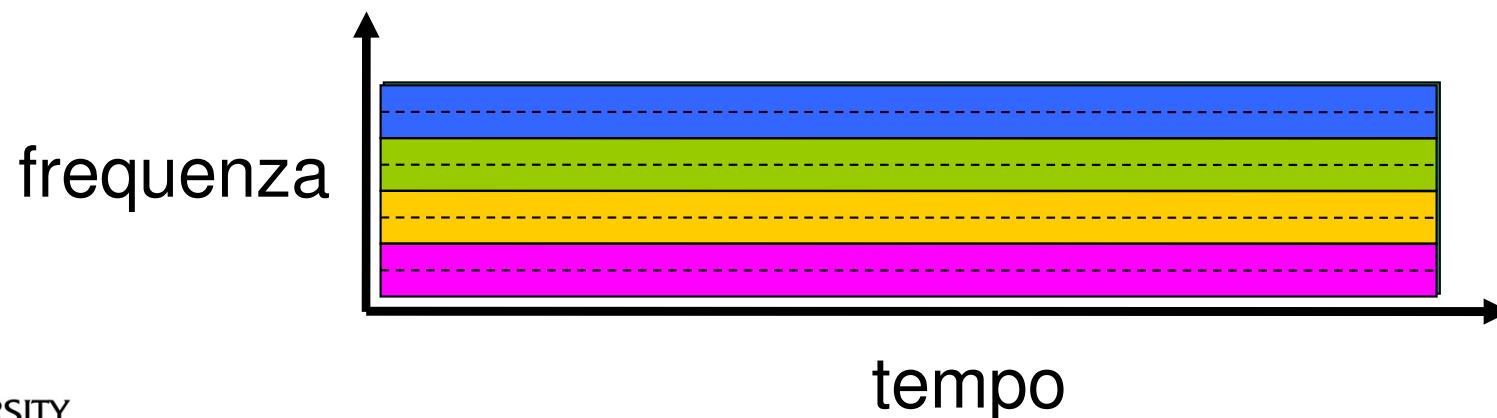


Commutazione di circuito: FDM e TDM

Time Division Multiplexing (TDM)



Frequency Division Multiplexing (FDM)



Un esempio numerico

- Quanto tempo occorre per inviare un file di 640.000 bit dall'host A all'host B su una rete a commutazione di circuito?
 - ❖ Tutti i collegamenti presentano un bit rate di 1,536 Mbit/s
 - ❖ Ciascun collegamento utilizza 1 slot di un sistema TDM con 24 slot/secondo
 - ❖ Si impiegano 500 ms per negoziare e stabilire un circuito punto-punto

Provate a calcolarlo!

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 le risorse fisiche
- Le risorse vengono ripartite in modalità *best effort* ed *a seconda delle necessità* (on demand)

Contesa per le risorse

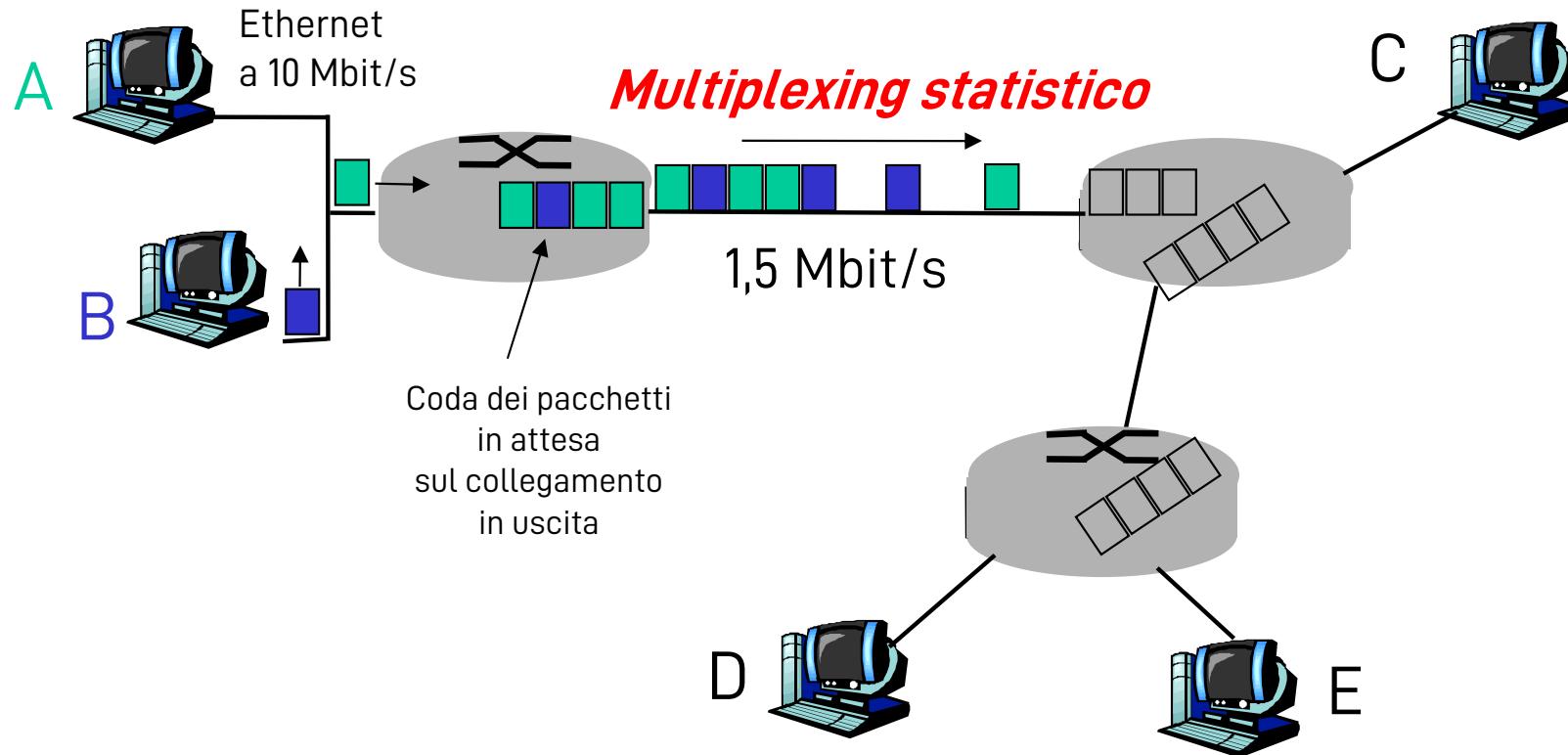
- La richiesta di risorse può eccedere il quantitativo disponibile
- **Store and forward:** Chi inoltra un pacchetto deve riceverlo per intero prima di cominciare a trasmettere sul collegamento in uscita
- **Congestione:** accodamento dei pacchetti, attesa per l'utilizzo del collegamento

Larghezza di banda suddivisa in "porzioni"

Allocazione dedicata
Risorse riservate

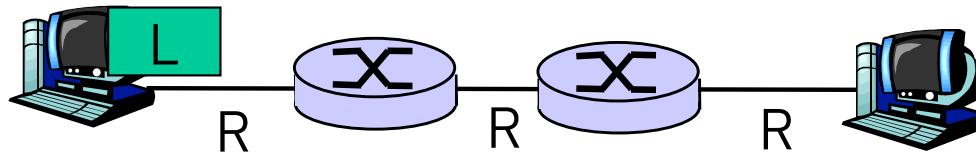


Commutazione di pacchetto: multiplexing statistico



- 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 trasmissione

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 bit/s
- Store and forward:*** l'intero pacchetto deve arrivare al router prima che questo lo trasmetta sul link successivo
 - ❖ **D: Perché non inoltrare direttamente ogni bit ricevuto?**
- Tempo di trasmissione totale:
 - ❖ $3L/R$ (supponendo che il ritardo di propagazione sia zero)

Esempio:

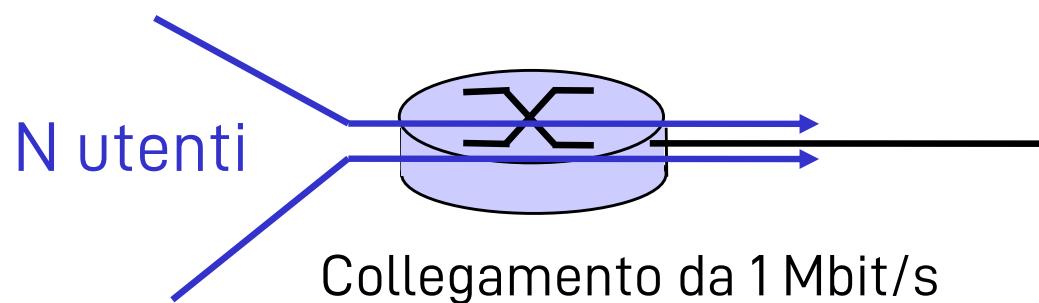
- $L = 12 \text{ kbit}$
- $R = 1,5 \text{ Mbit/s}$
- Tempo di trasmissione:
 - ❖ $L/R = 8 \text{ millisecondi}$

} approfondiremo tra breve il ritardo ...

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 Mbit/s
- Ciascun utente:
 - ❖ 100 kbit/s quando è "attivo"
 - ❖ Attivo per il 10% del tempo
- Comutazione di circuito:
 - ❖ 10 utenti
- Comutazione di pacchetto:
 - ❖ Fino a 10 utenti attivi, tutti possono trasmettere contemporaneamente
 - ❖ Oltre, i pacchetti si accumulano finché gli utenti attivi non diminuiscono
 - ❖ Con 35 utenti, la probabilità di averne > 10 attivi è inferiore a 0,0004!!



D: come è stato ottenuto il valore 0,0004?

(ricordate le distribuzione binomiale)

Confronto tra commutazione di pacchetto e commutazione di circuito

La commutazione di pacchetto è la "scelta vincente?"

- Ottima per i dati a raffica ("burst")
 - ❖ Condivisione delle risorse
 - ❖ Più semplice, non necessita scambio di messaggi per riservare risorse
- Se si verificano congestioni: ritardo e perdita di pacchetti
 - ❖ Sono necessari protocolli per il trasferimento affidabile dei dati e per prevenire o controllare la 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 – non coperto dal corso)

Meglio inviare pacchetti lunghi o corti?

□ Applet:

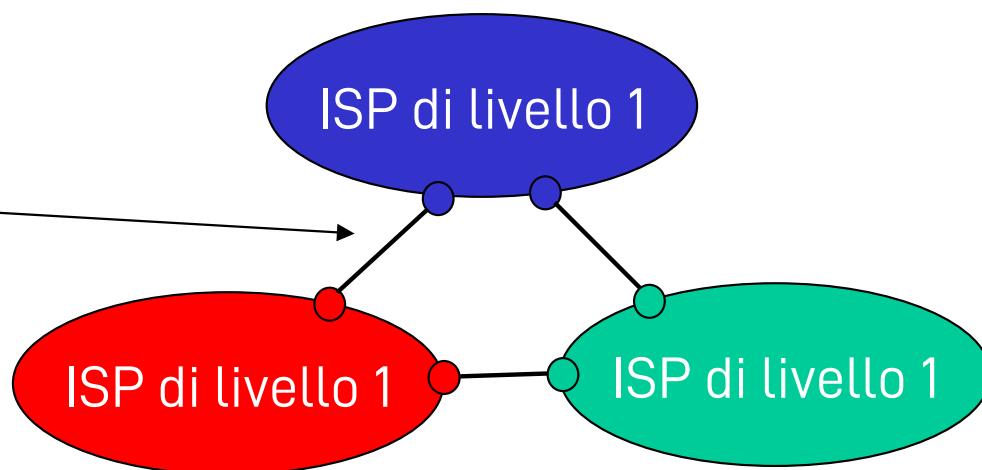
- ❖ https://media.pearsoncmg.com/aw/ecs_kurose_compnetwork_7/cw/content/interactiveanimations/message-segmentation/index.html

□ Discutiamo insieme i risultati

Struttura di Internet: la rete delle reti

- Fondamentalmente gerarchica
- Al centro: "ISP di livello 1" (es.: Verizon, Sprint, AT&T, Orange, Deutsche Telekom, Telecom Italia Sparkle, ...)
 - ❖ Copertura nazionale / internazionale
 - ❖ Comunicano tra di loro come "pari" (peer)

Gli ISP di livello 1 sono direttamente connessi a ciascuno degli altri ISP di livello 1 attraverso il cosiddetto "peering" ("peer" = pari grado)



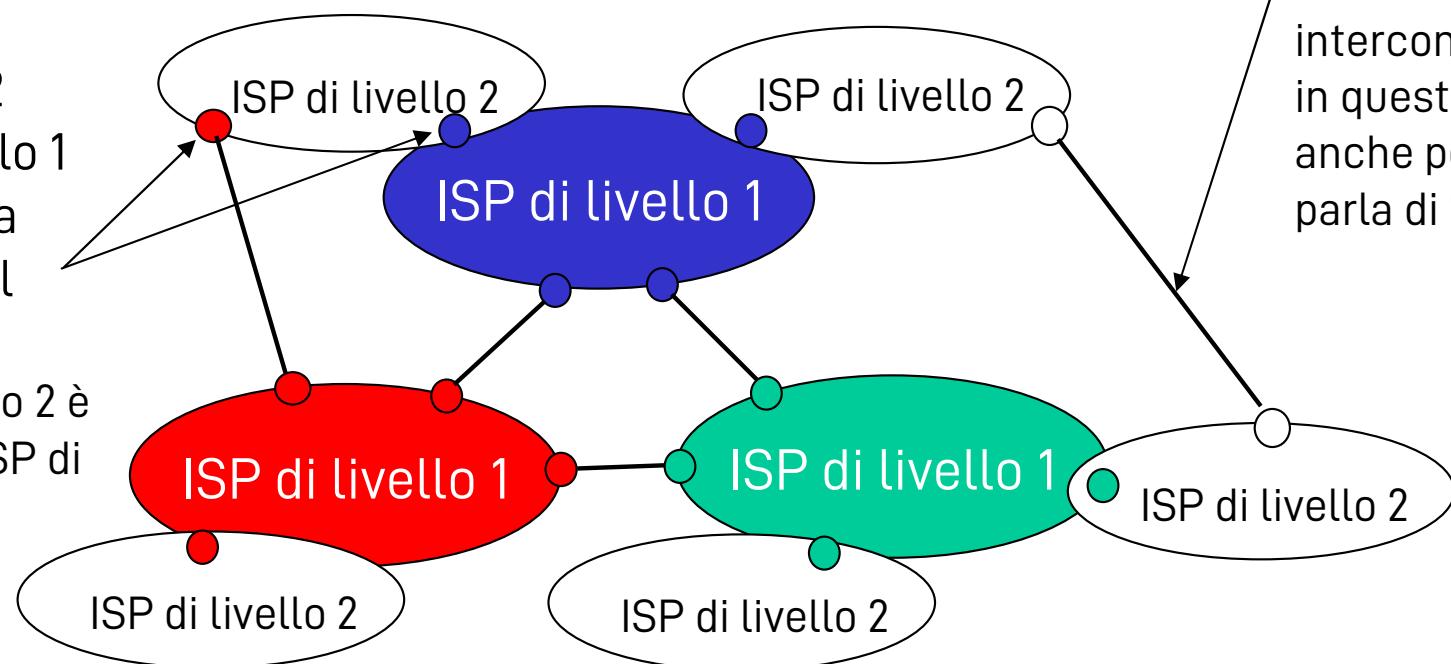
Struttura di Internet: la rete delle reti

❑ ISP di livello 2: ISP più piccoli (nazionali o distrettuali)

- ❖ Si può connettere solo ad alcuni ISP di livello 1
- ❖ Possibilmente ad altri ISP di livello 2

Un ISP di livello 2 paga l'ISP di livello 1 che gli fornisce la connettività per il resto della rete

- ❑ Un ISP di livello 2 è cliente di un ISP di livello 1



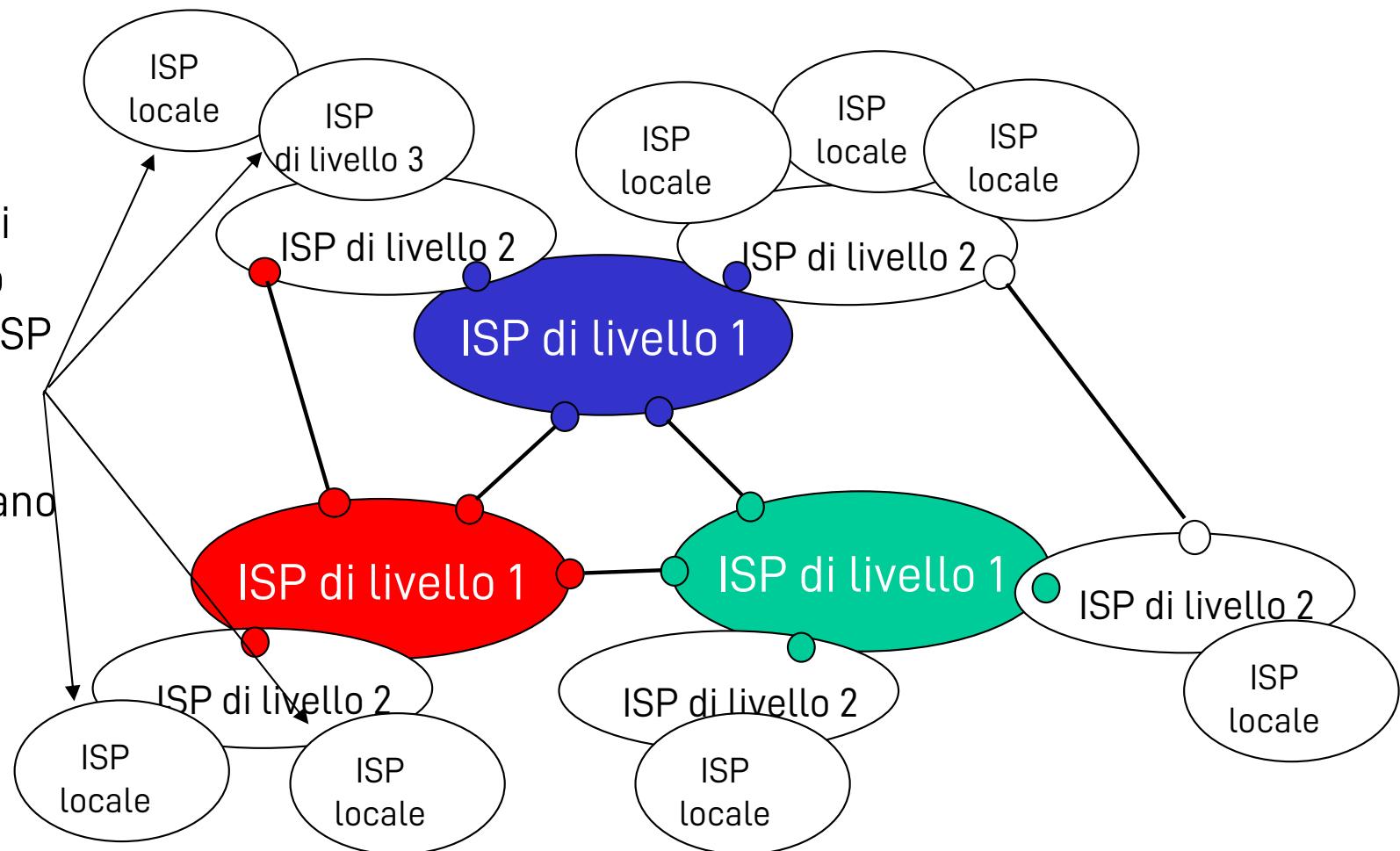
Può succedere che due ISP siano direttamente interconnessi: in questo caso, anche per essi si parla di "peering"

Struttura di Internet: la rete delle reti

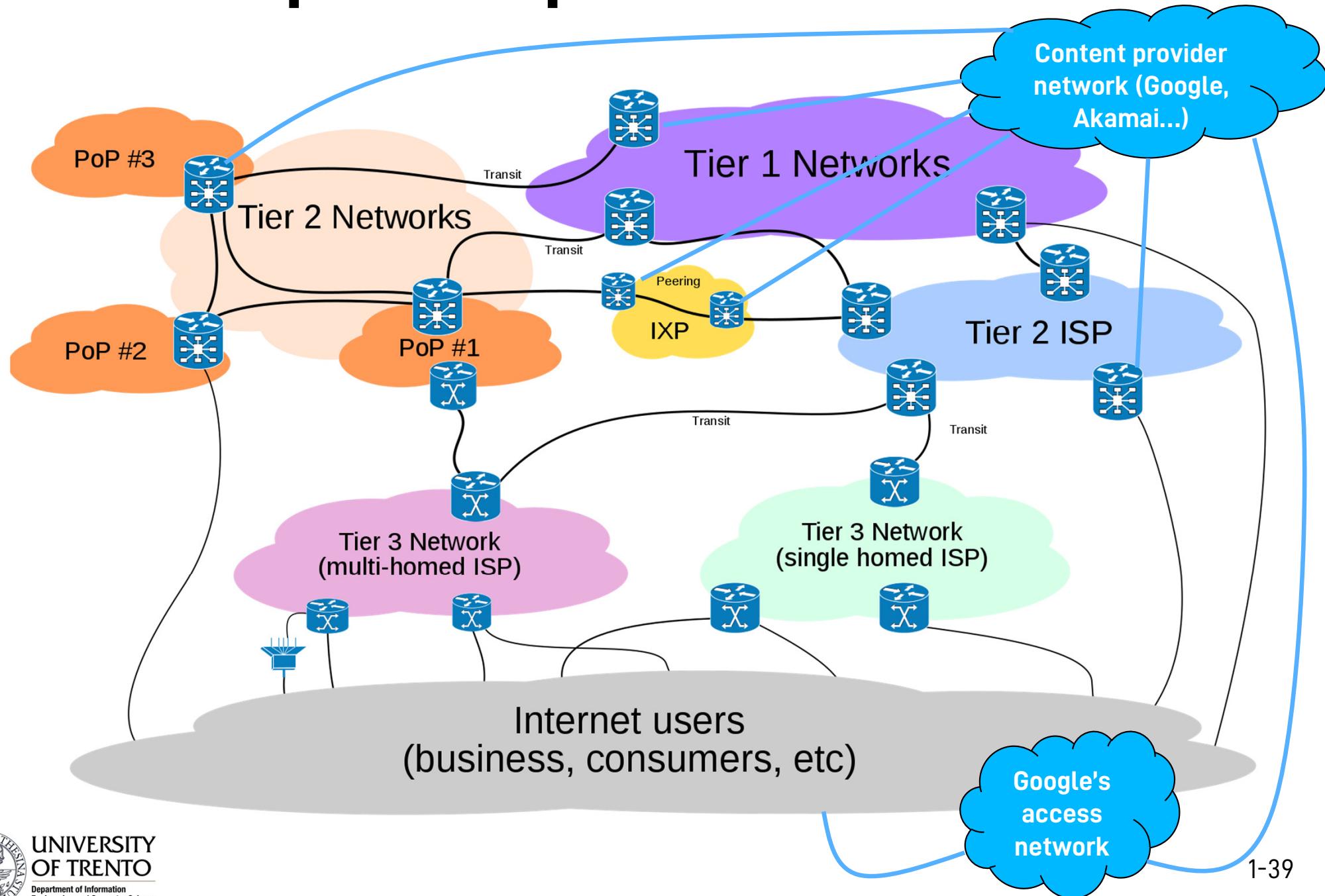
□ ISP di livello 3 e ISP locali (ISP di accesso)

- ❖ Reti "ultimo salto" (*last hop network*), le più vicine ai sistemi terminali

ISP locali e di livello 3 sono *clienti* degli ISP di livello superiore che li collegano all'intera Internet

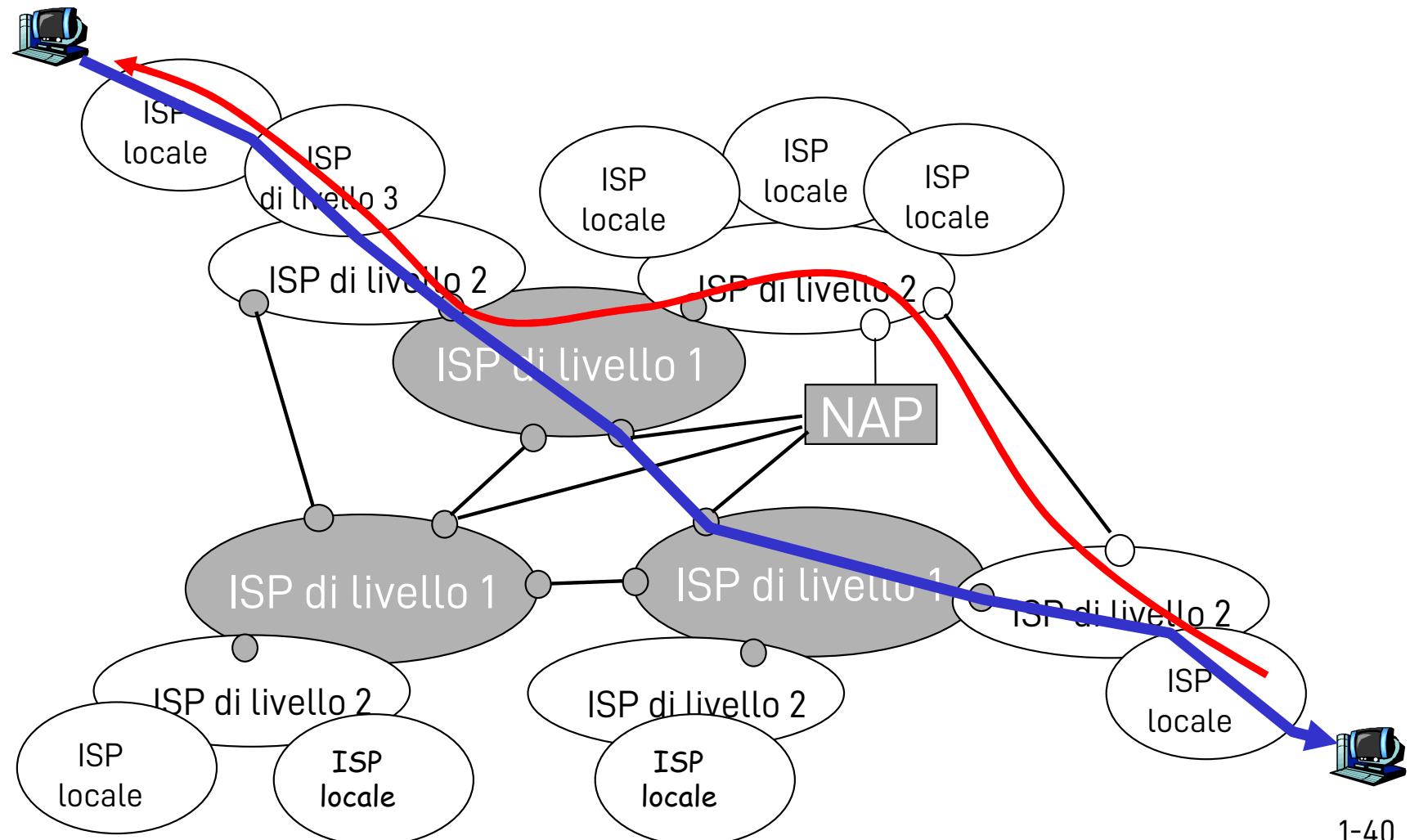


E' anche più complicato di così...

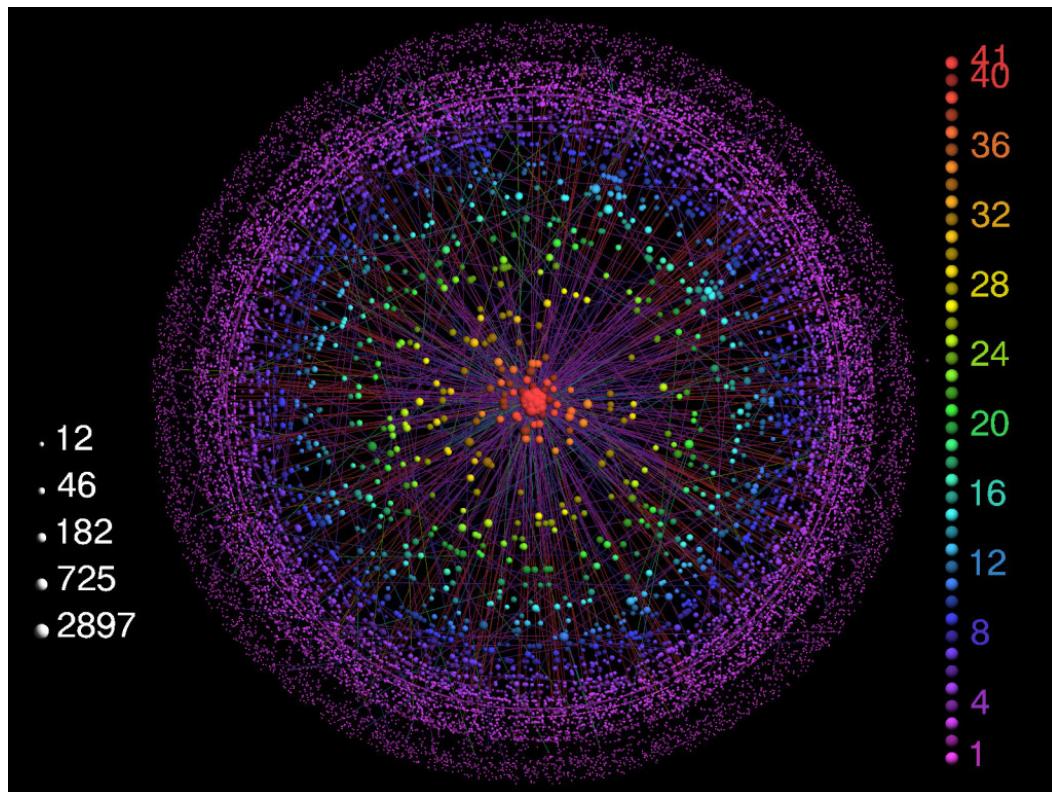


Struttura di Internet: la rete delle reti

- Un pacchetto passa attraverso molte reti
- I percorsi di andata e ritorno tra due host non sono necessariamente gli stessi



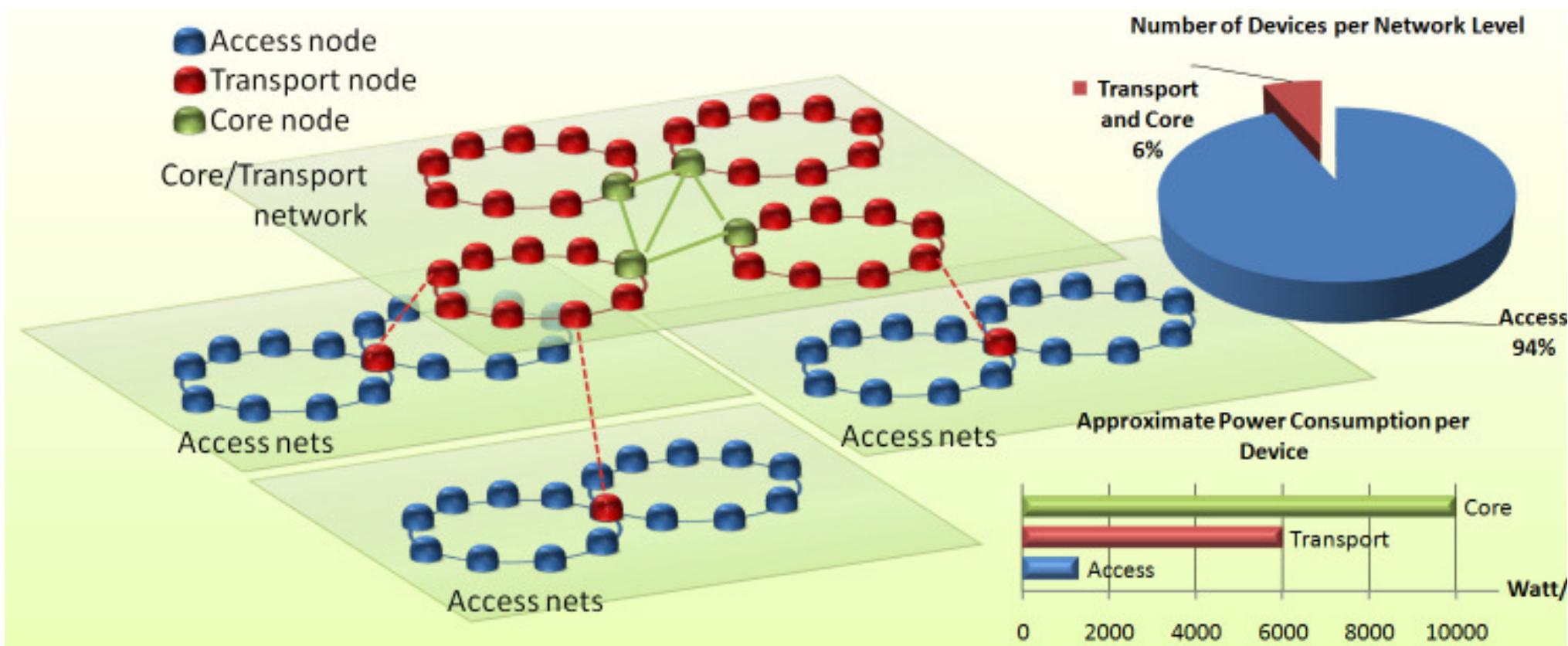
Struttura di Internet



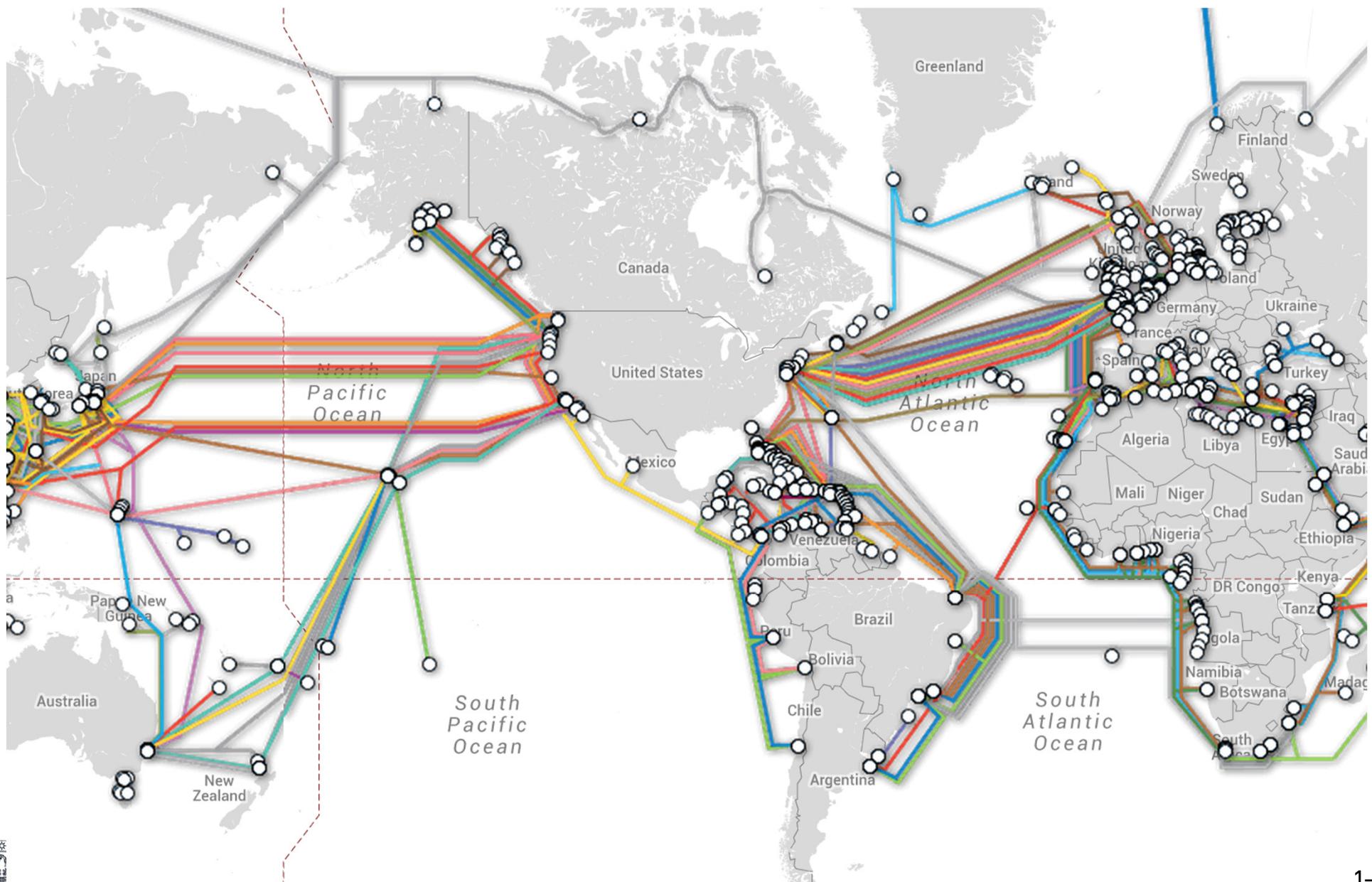
Mappa topologica di Internet
(2007) - Proceedings of the
National Academy of Sciences

- Core: circa 80 nodi con molte connessioni verso altri nodi
- Intorno al core, 5000 nodi con minor connettività, dipendenti dal core
- Poi altri 15k con connessioni peer tra di loro... etc.

Struttura di Internet: Accesso, Trasporto, Core



Collegamenti intercontinentali

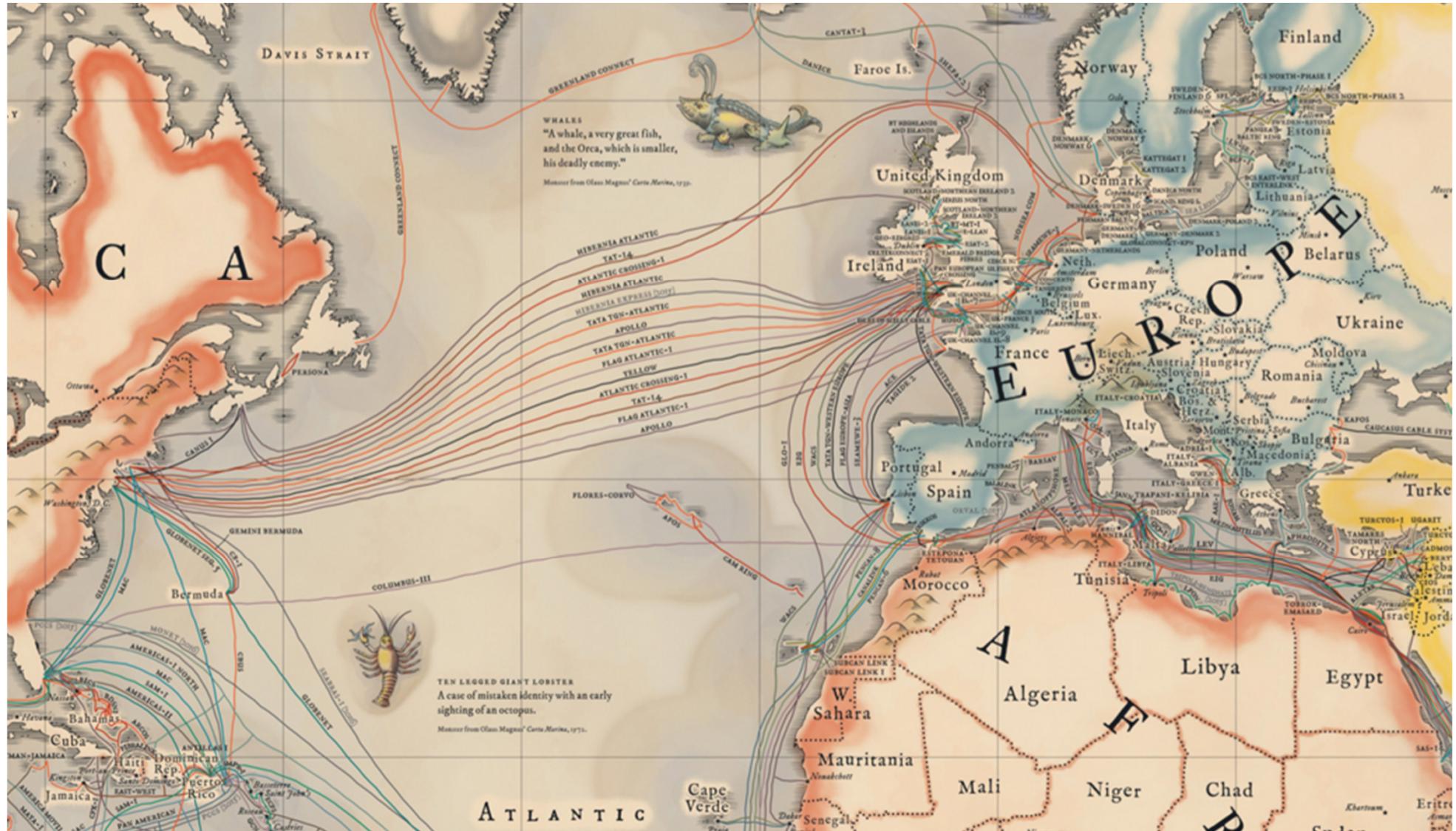


Collegamenti intercontinentali



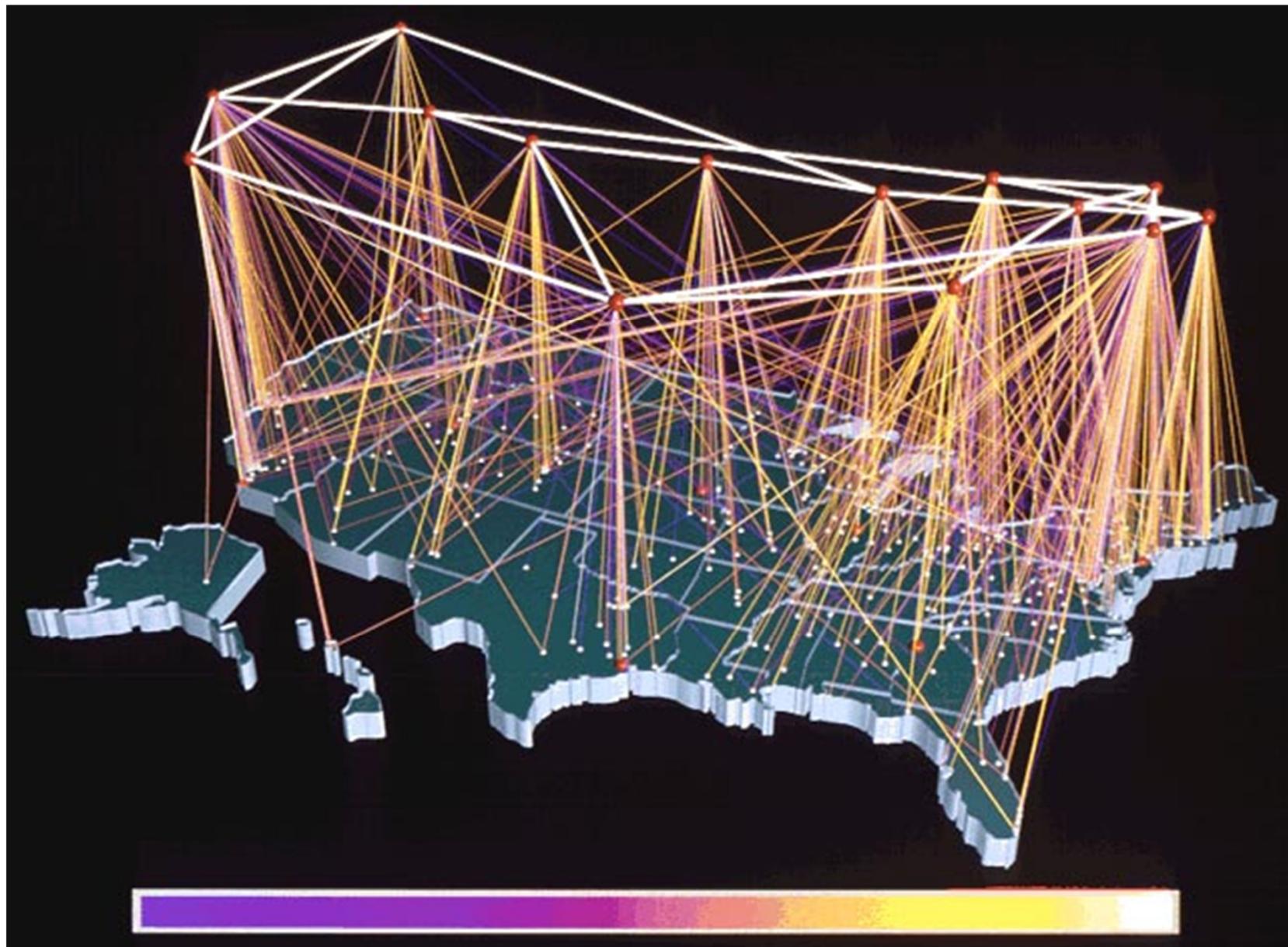
<https://submarine-cable-map-2015.telegeography.com/>

Collegamenti intercontinentali

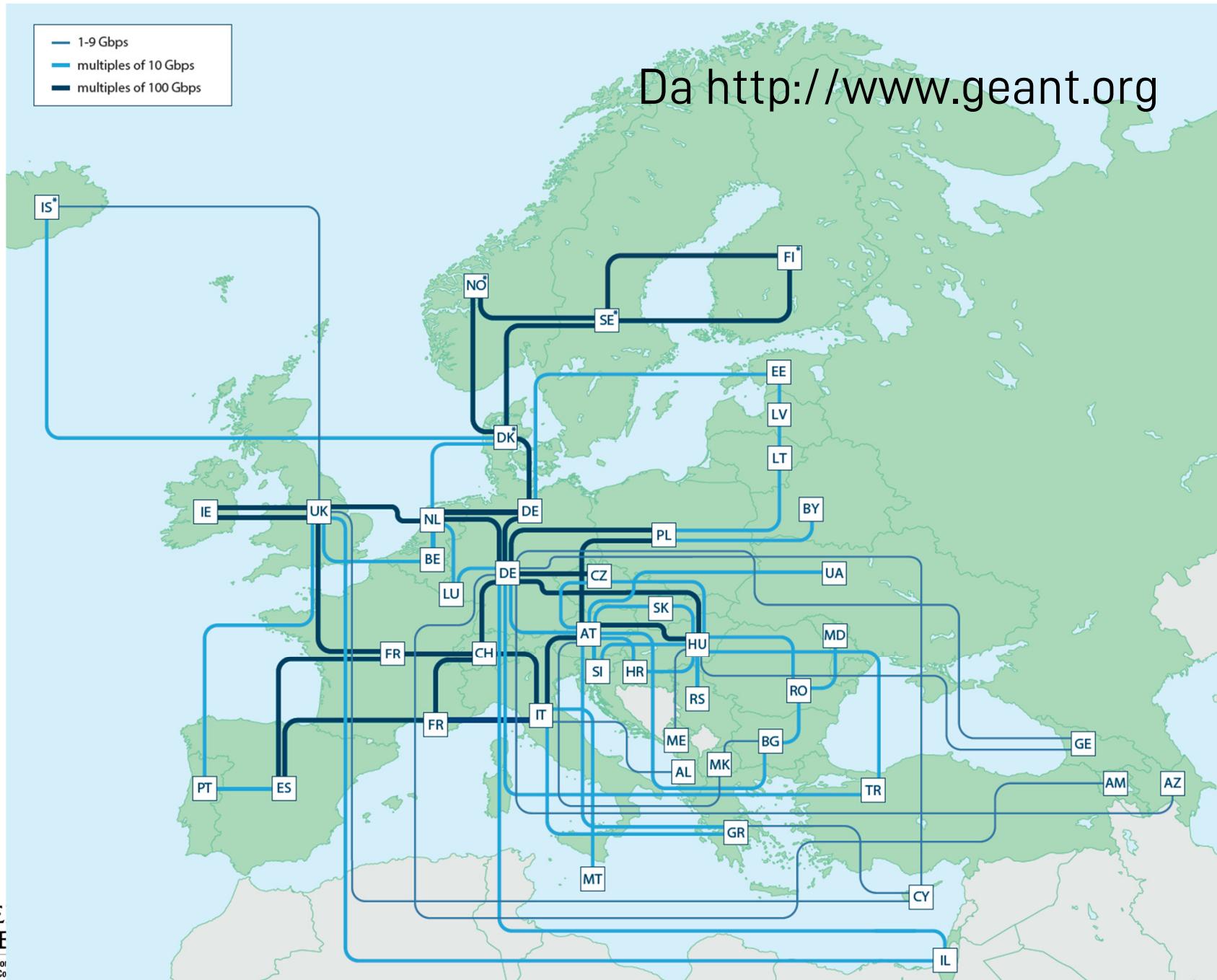


<https://submarine-cable-map-2015.telegeography.com/>

Struttura di Internet - NSFnet



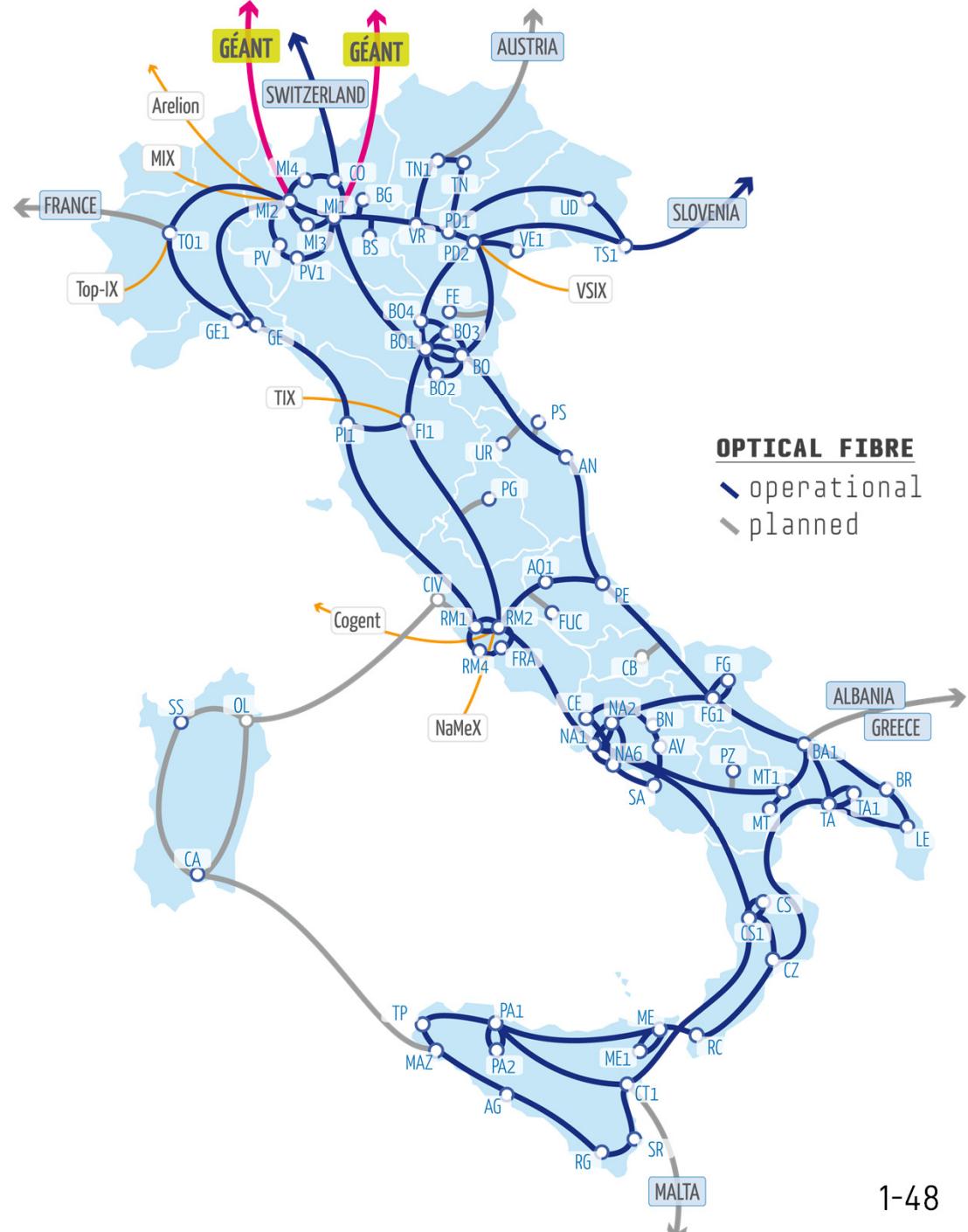
Struttura di Internet - GEANT



Struttura di Internet - GARR

Per maggiori informazioni

[https://www.garr.it/it/
infrastrutture/rete-
nazionale/mappa-
della-rete](https://www.garr.it/it/infrastrutture/rete-nazionale/mappa-della-rete)



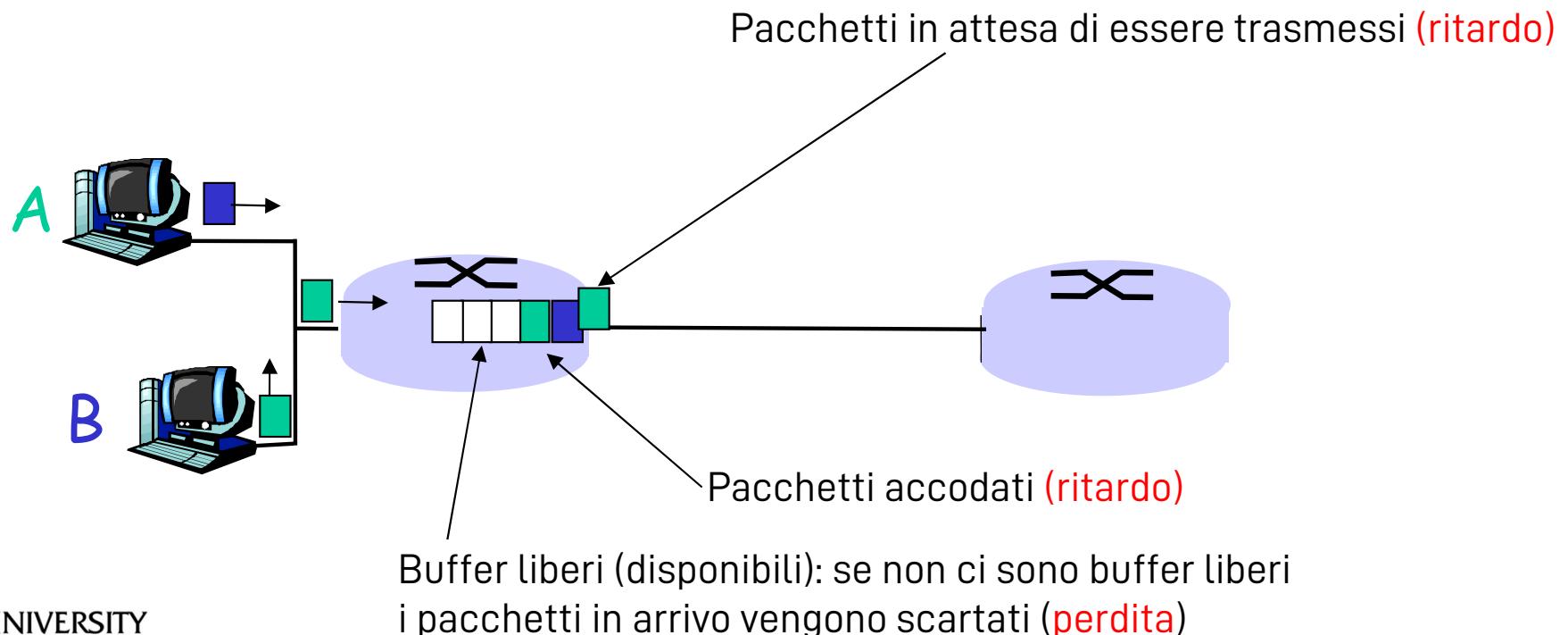
Capitolo 1: roadmap

- 1.1 Cos'è Internet?
- 1.2 Ai confini della rete
 - Sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti
- 1.3 Il nucleo della rete
 - Comutazione 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 (Breve) Storia del computer networking e di Internet

Come si verificano ritardi e perdite?

I pacchetti *si accodano* nei buffer (memorie) dei router

- Succede quando il tasso di arrivo dei pacchetti sul collegamento eccede la capacità di evaderli del router e dei collegamenti di uscita



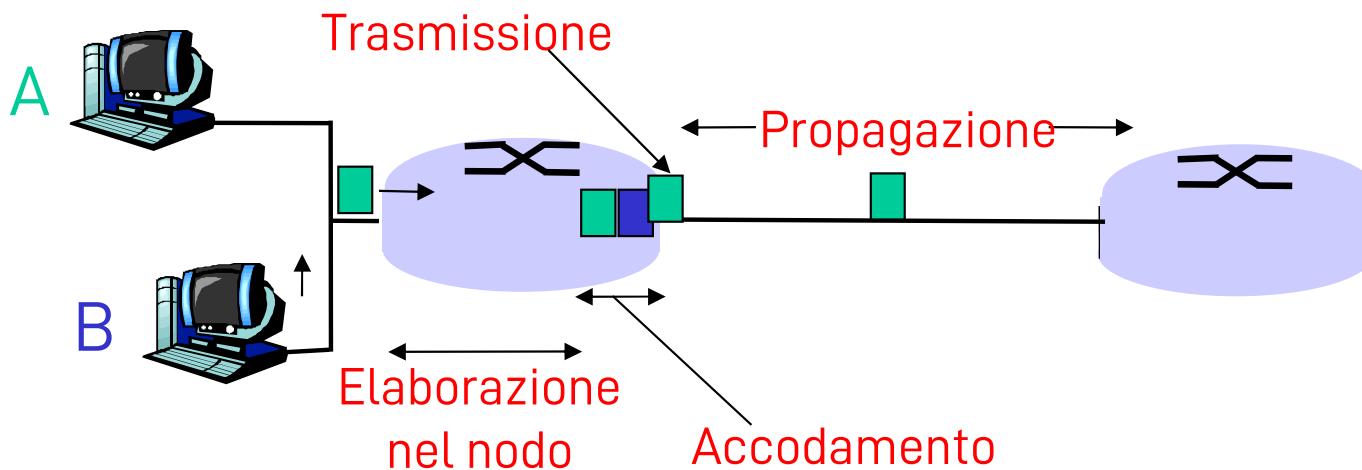
Quattro cause di ritardo per i pacchetti

□ 1. Ritardo di elaborazione del nodo:

- ❖ Controllo errori sui bit
- ❖ Determinazione della porta o 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):

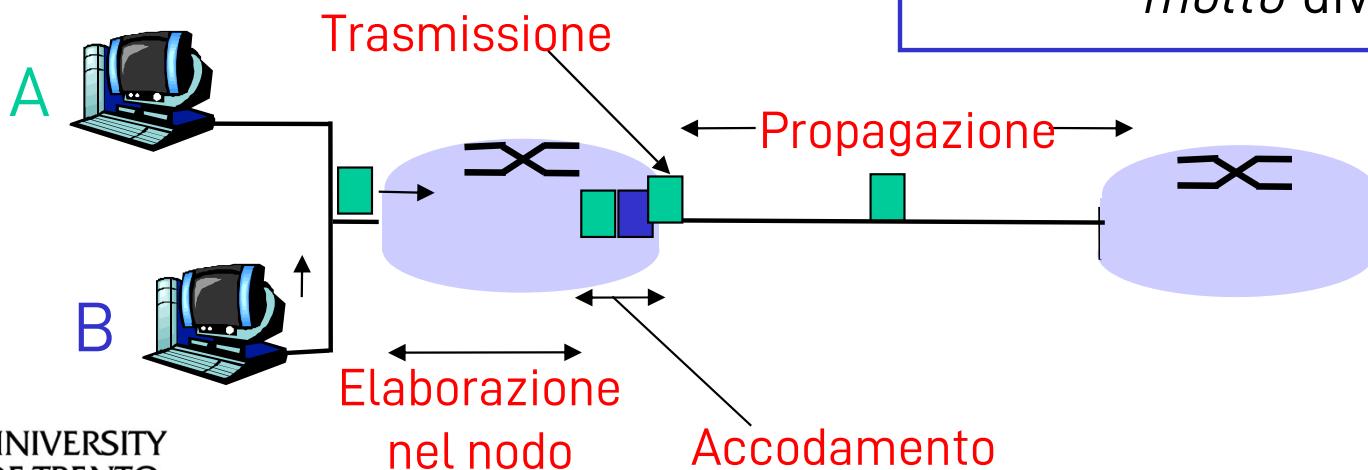
- R = frequenza di trasmissione del collegamento (in bit/s)
- L = lunghezza del pacchetto (in bit)
- Tempo (o ritardo) di trasmissione = L/R

4. Ritardo di propagazione (d/s)

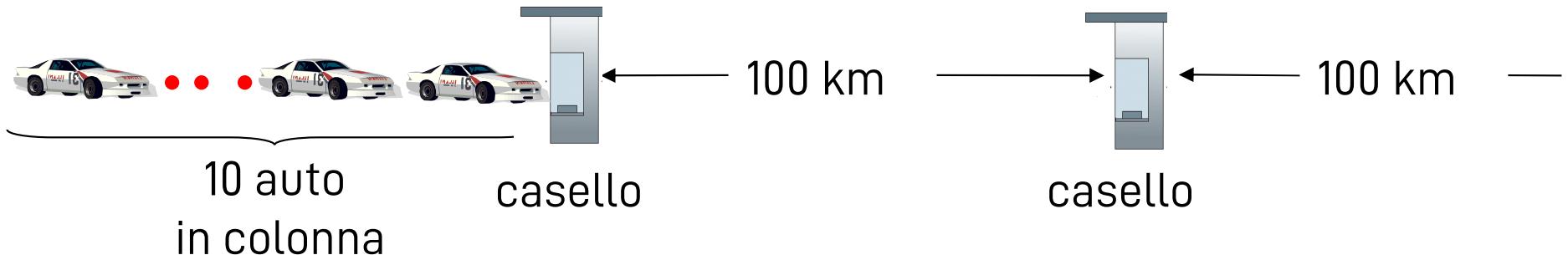
- d = lunghezza del collegamento fisico
- s = velocità di propagazione del collegamento ($\sim 2 \times 10^8$ m/s)
- Ritardo di propagazione = d/s

Nota

s e R sono due quantità
molto diverse!



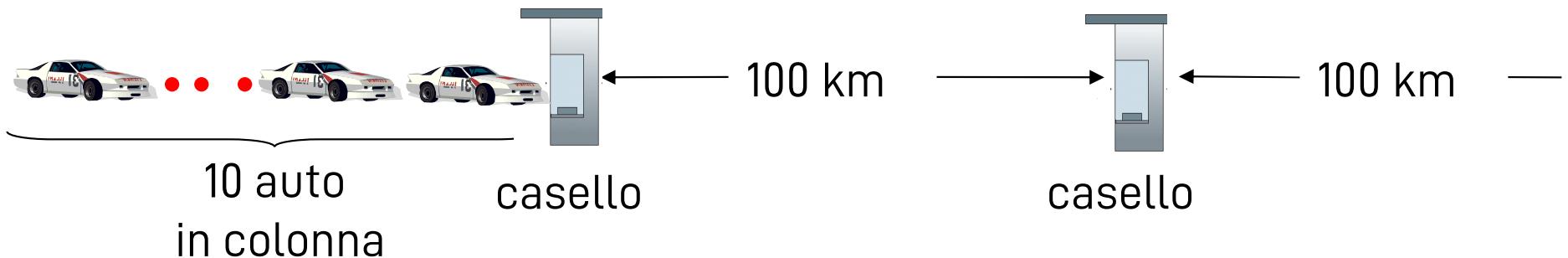
L'analogia del casello autostradale



- 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 = $12 * 10 = 120$ sec
- Tempo richiesto a un'auto per viaggiare dall'uscita di un casello fino al casello successivo:
 $100\text{km} / (100\text{km/h}) = 1\text{ hr}$
- 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:
 - ❖ <https://www.ccs-labs.org/teaching/rn/animations/propagation/>

Ritardo di nodo

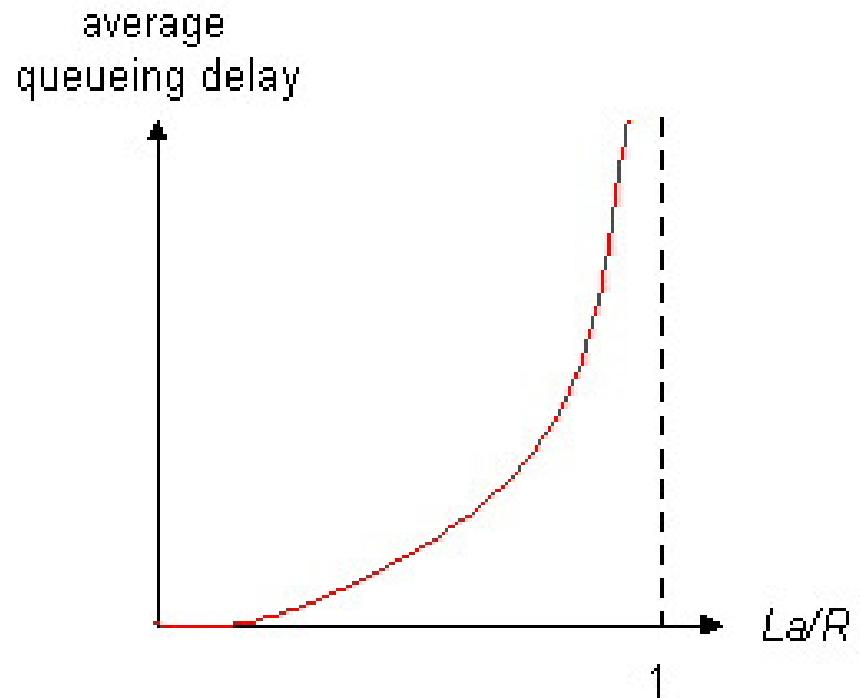
$$d_{node} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}$$

- d_{proc} = ritardo di elaborazione (*processing delay*)
 - ❖ in genere pochi microsecondi, o anche meno
- d_{queue} = ritardo di accodamento (*queuing delay*)
 - ❖ dipende dalla congestione
- d_{trans} = ritardo di trasmissione (*transmission delay*)
 - ❖ = L/R, significativo sui collegamenti a bassa velocità
- d_{prop} = ritardo di propagazione (*propagation delay*)
 - ❖ da pochi microsecondi a centinaia di millisecondi
- **D:** c'è un altro ritardo nascosto non elencato sopra?

Ritardo di accodamento

- R = frequenza di trasmissione (bit/s)
- L = lunghezza del pacchetto (bit)
- A = tasso medio di arrivo dei pacchetti

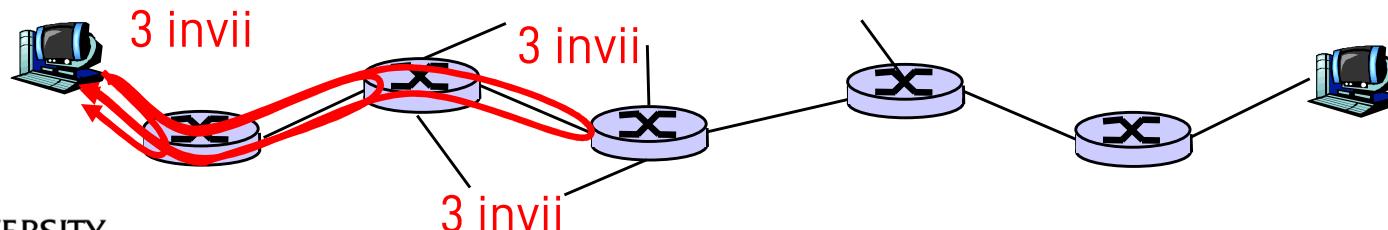
L^*A/R = intensità di traffico



- $L^*A/R \sim 0$: poco ritardo
- $L^*A/R \rightarrow 1$: il ritardo si fa consistente
- $L^*A/R > 1$: 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, tipicamente rivelando la sua identità
 - ❖ Il mittente calcola l'intervallo tra trasmissione e risposta



Ritardi e percorsi in Internet

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

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

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

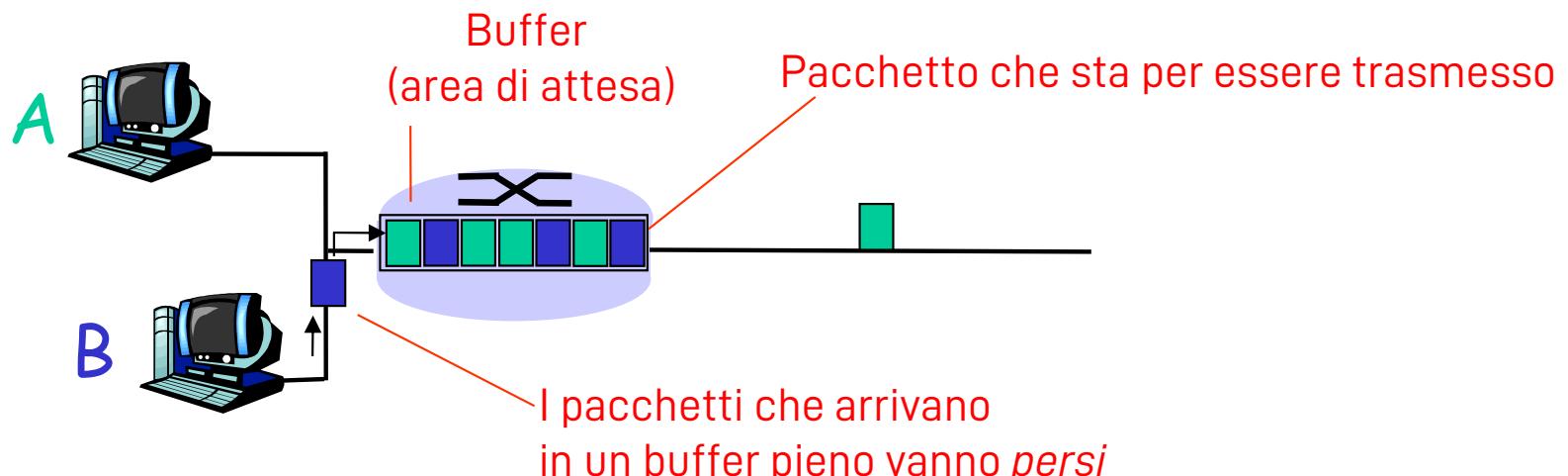
collegamento
transoceanico

Provate traceroute

- Fornito con sistemi Linux – comando **traceroute**
- Oppure cercate un servizio di traceroute online
 - ❖ Es. <https://ping.eu/traceroute>
 - Traccia rotte che partono da un server di Hetzner verso un indirizzo che dovete inserire voi – provate www.kame.net)
- Digitate un indirizzo web e controllate quali salti (hop) vi vengono restituiti
 - ❖ Provate anche query “where is 129.250.3.56” su Google

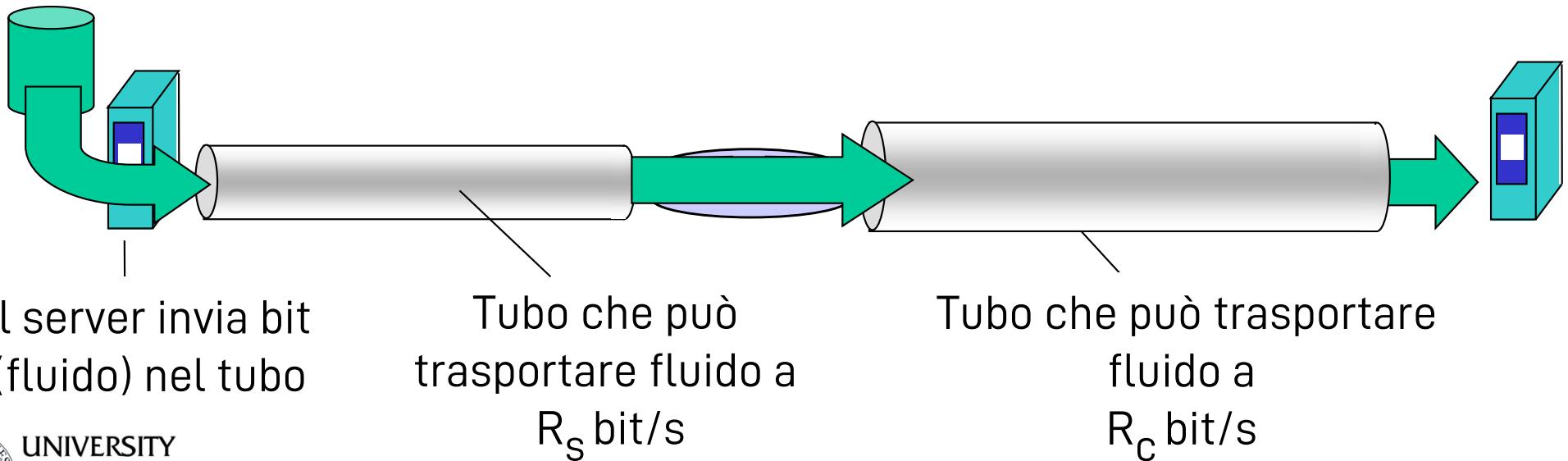
Perdita di pacchetti

- Una coda (detta anche buffer) ha capacità finita
- Quando il pacchetto trova la coda piena, viene scartato (e quindi perso)
- Il pacchetto perso può essere ritrasmesso
 - ❖ Dal nodo precedente
 - ❖ O dal sistema terminale che lo ha generato
- Oppure può non essere ritrasmesso affatto



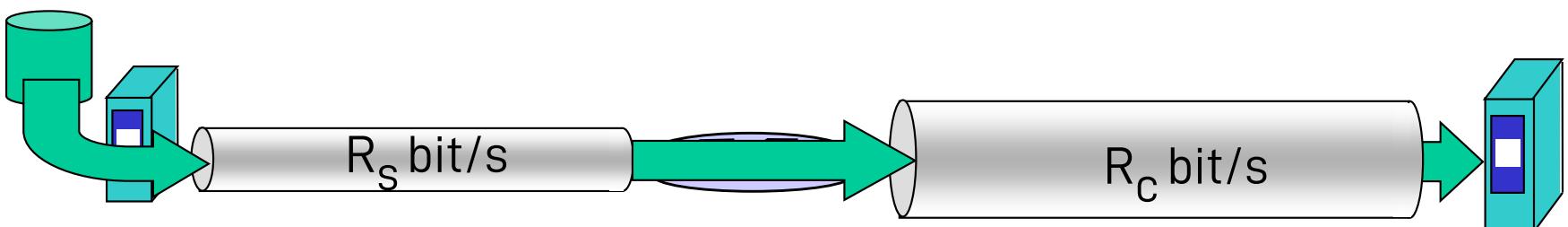
Throughput

- *Throughput*: frequenza (dati/unità di tempo) alla quale una certa unità dati viene trasferita tra mittente e ricevente
 - ❖ *Instantaneo*: in un determinato istante
 - ❖ *Medio*: in un periodo di tempo più lungo
- {Bit, file, pacchetti, ...} per {secondo, ora, sessione, ...}
- Esempio con bit e secondi

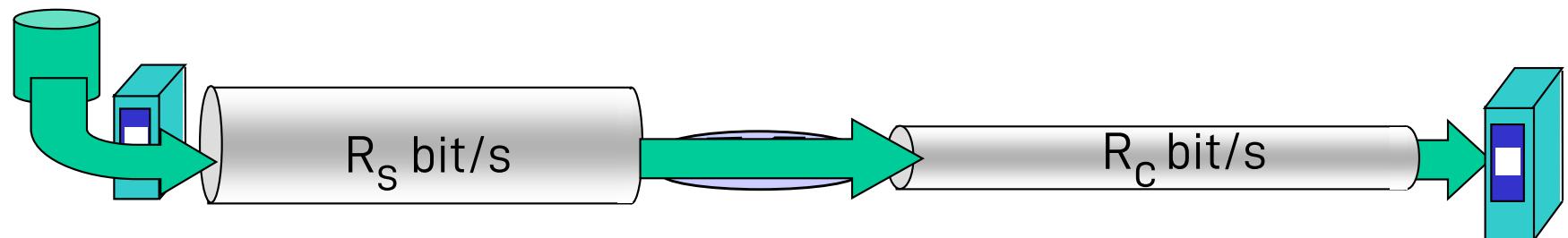


Throughput (segue)

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



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

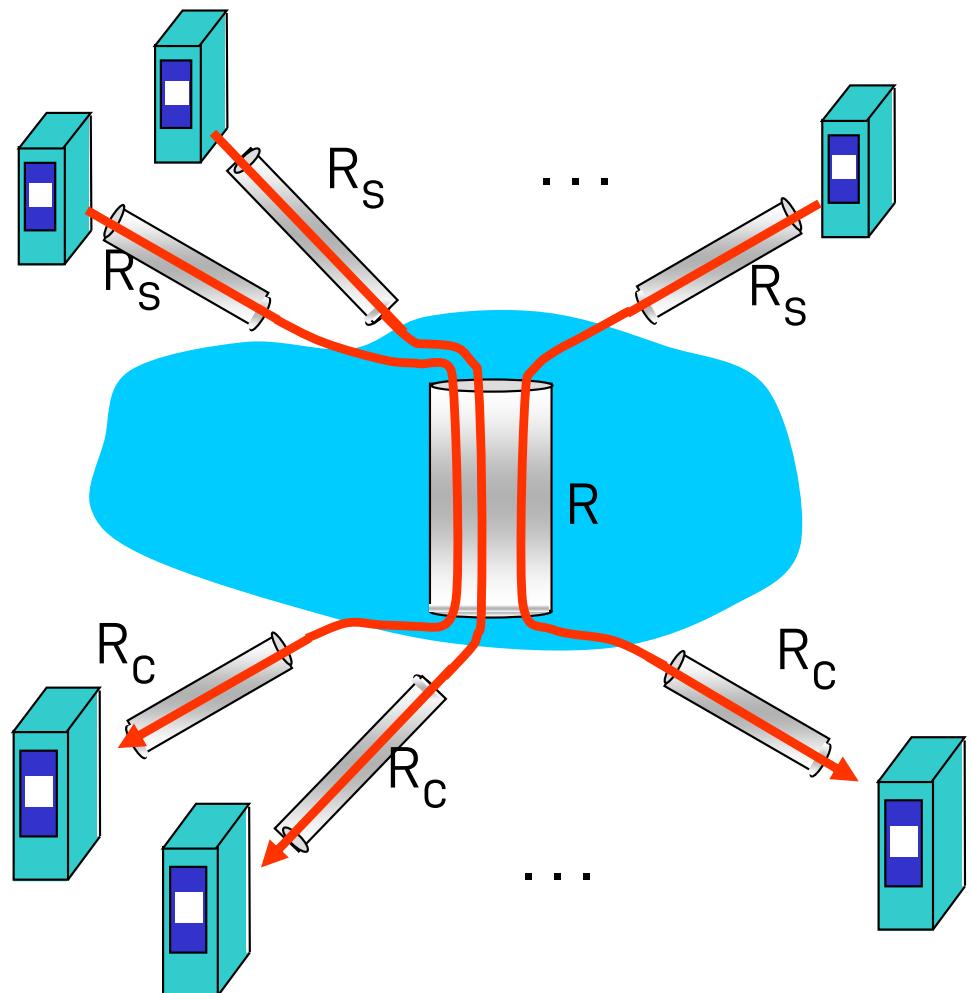


Collo di bottiglia

Collegamento su un percorso punto-punto che vincola il 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 sono spesso il collo di bottiglia



10 collegamenti condividono equamente un link di capacità R bit/s

Curiosità (P25 cap. 1 del Kurose-Ross)

- Due host A e B sono separati da $m = 20.000$ km e connessi da un link a velocità $R = 2$ Mbit/s
 - La velocità di propagazione è $c = 2.5 \cdot 10^8$ m/s
1. Qual è il prodotto tra banda e ritardo (**bandwidth-delay product**)?
 2. Volete mandare un messaggio di 800.000 bit da A a B, inviando tutti i bit uno dopo l'altro in un'unica lunga trasmissione. Quanti bit ci sono sul link in un momento qualsiasi?
 3. La risposta precedente è legata alla risposta 1?

Curiosità (P25 cap. 1 del Kurose-Ross)

- Due host A e B sono separati da $m = 20.000$ km e connessi da un link a velocità $R = 2$ Mbit/s
- La velocità di propagazione è $c = 2.5 \cdot 10^8$ m/s
- 4. Qual è la lunghezza (in metri) di un bit sul link?

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 (Breve) Storia del computer networking e di Internet

Livelli di protocollo

Le reti sono complesse!

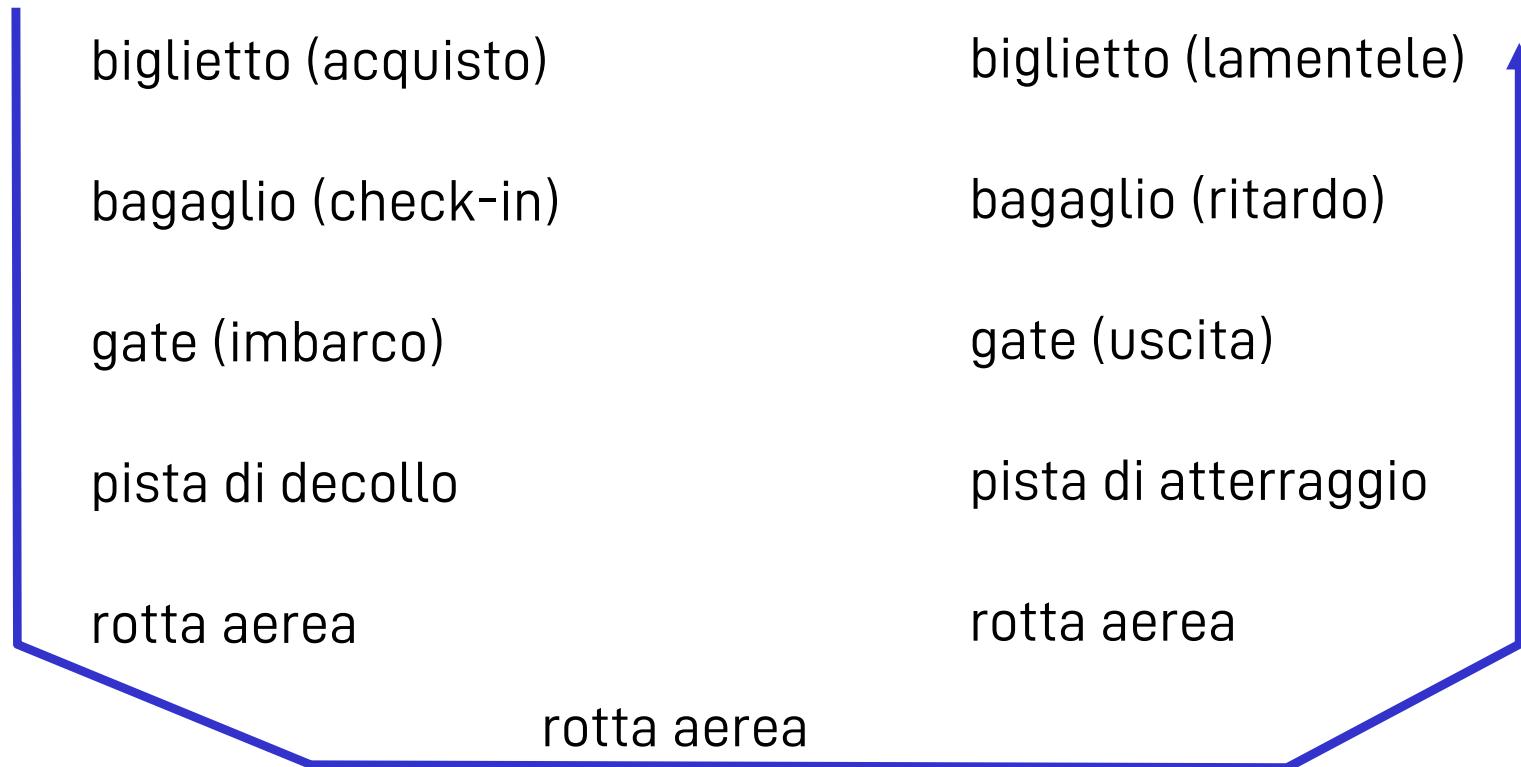
- Molti componenti:
 - ❖ Host
 - ❖ Router
 - ❖ Svariate tipologie di mezzi di trasmissione
 - ❖ Applicazioni
 - ❖ Protocolli
 - ❖ Hardware, software

Domanda:

C'è qualche speranza di *organizzare* l'architettura delle reti?

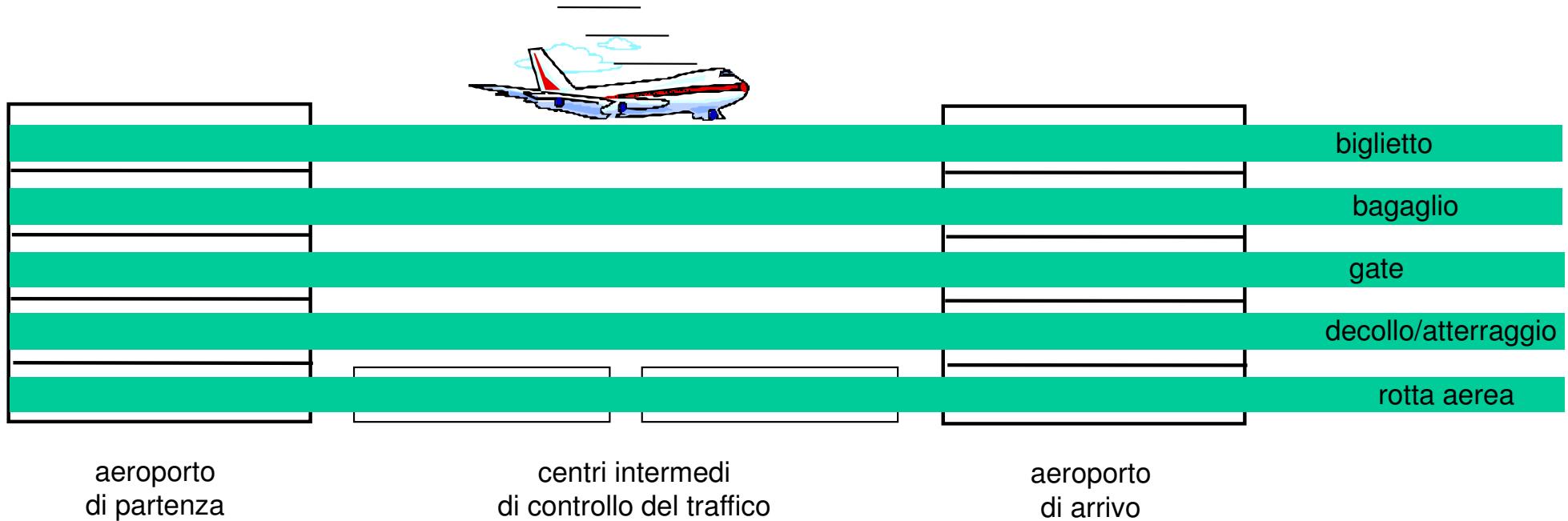
O almeno la nostra trattazione sulle reti?

Organizzazione di un viaggio aereo



- Una serie di passi successivi

Stratificazione delle funzionalità di una linea aerea



Livelli: ciascun livello realizza un servizio

- ❖ Effettuando determinate azioni all'interno del livello stesso
- ❖ Utilizzando i servizi del livello immediatamente inferiore

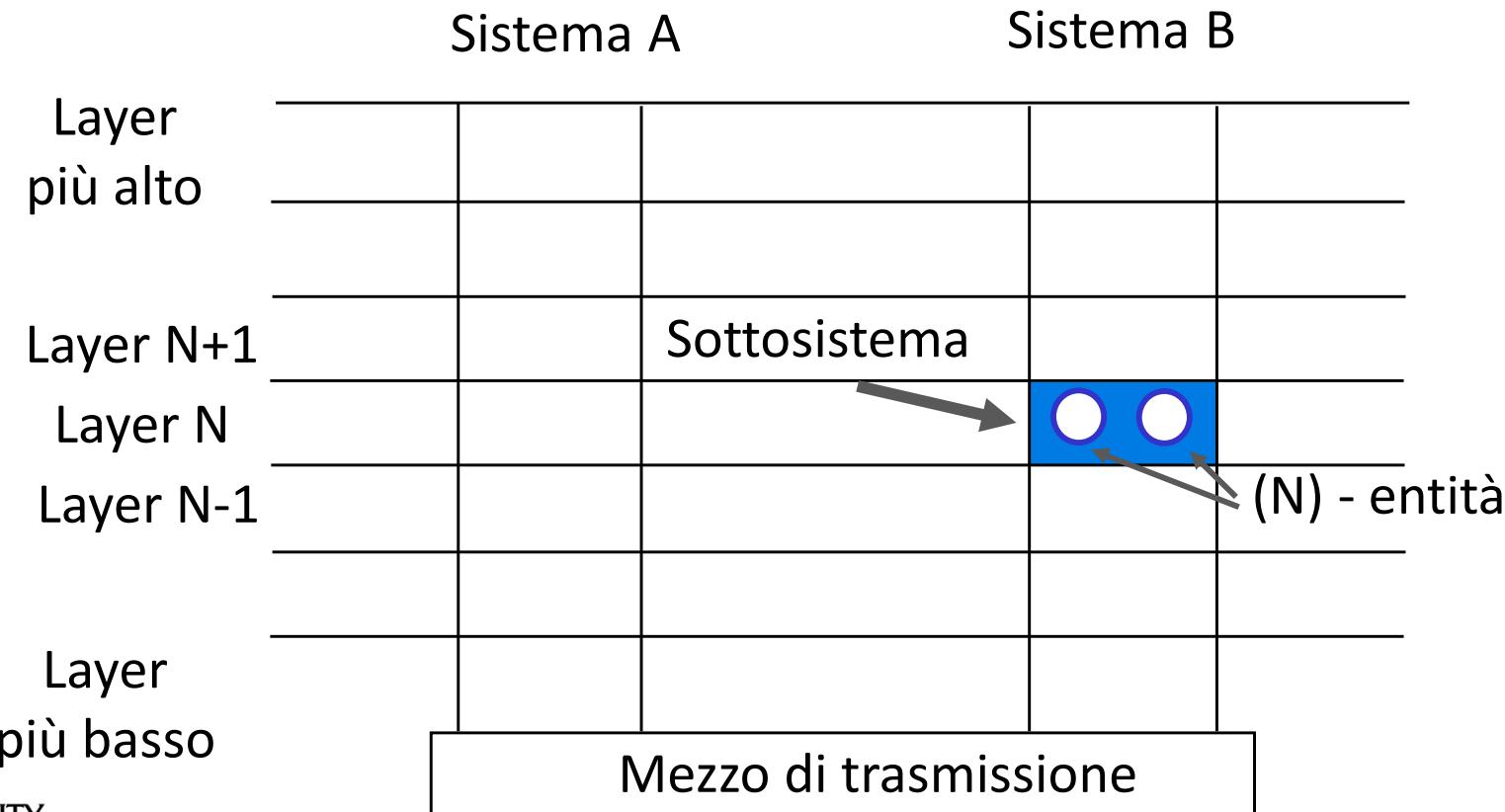
Perché la stratificazione?

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
- **D: Il modello a strati può essere considerato dannoso?**

Layer

- Ogni sistema è composto da sottosistemi
- Ogni sotto-sistema è composto da diverse entità, ciascuna delle quali implementa le funzionalità di un layer

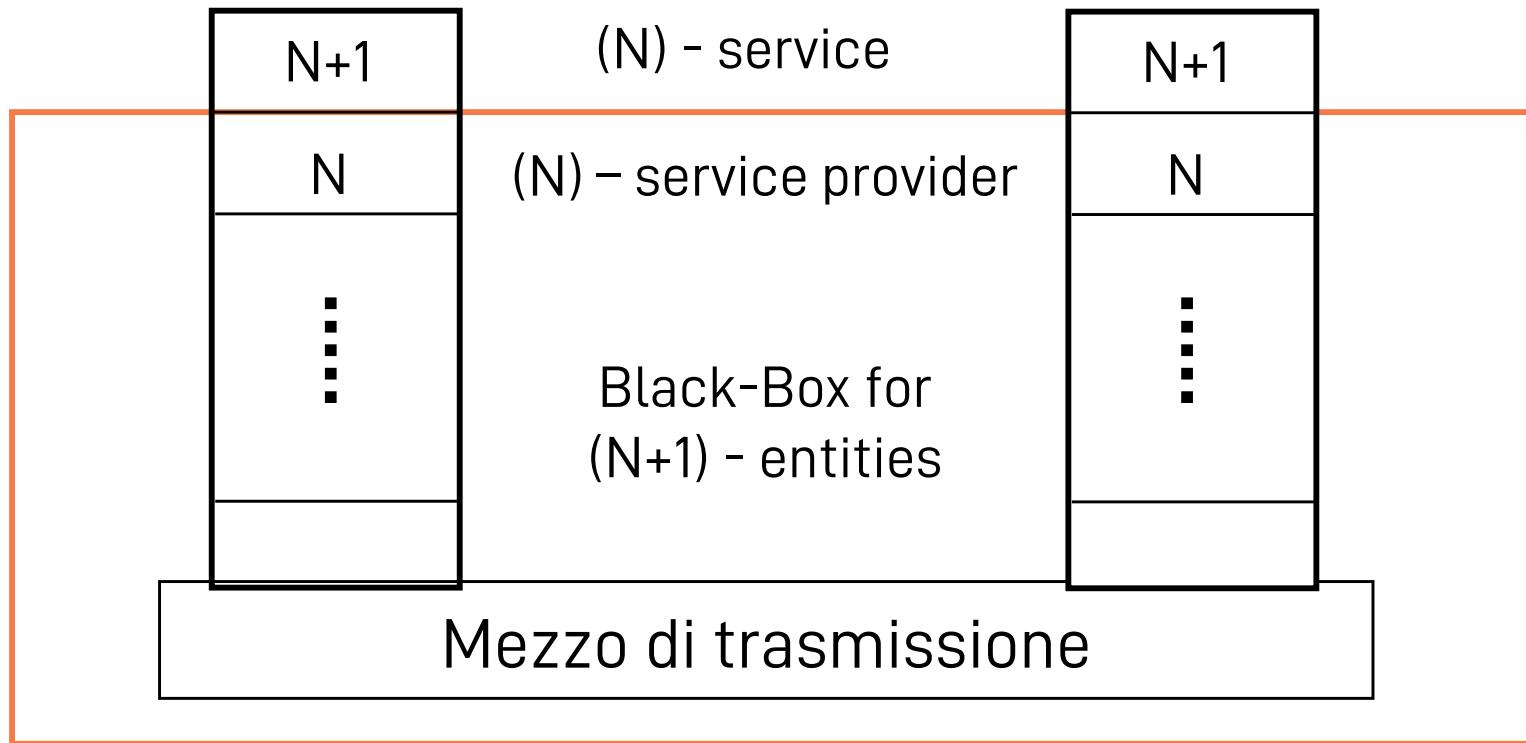


Layer

- Ogni layer
 - ❖ Fornisce servizi al layer superiore
 - ❖ Usa
 - I servizi del layer inferiore
 - Le proprie funzionalità
- I servizi vengono forniti attraverso i Service Access Points (SAP)

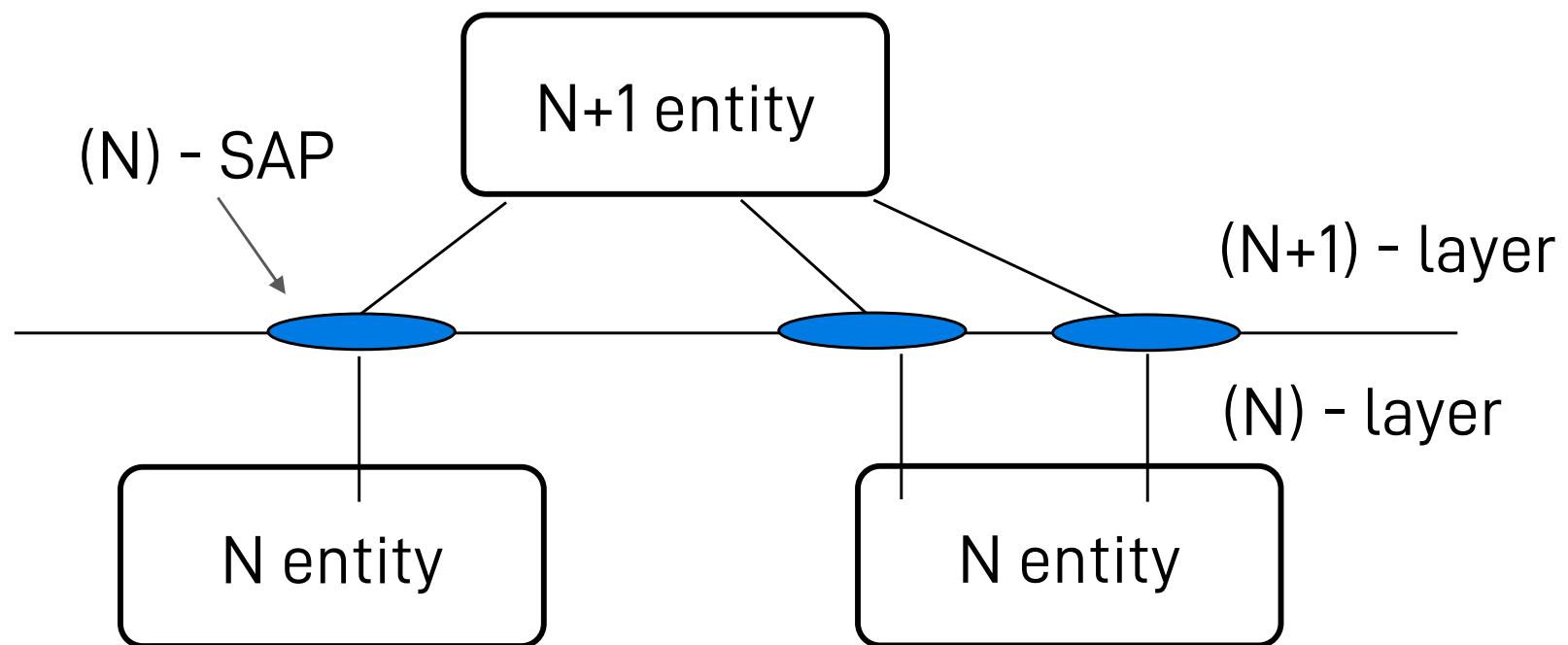
Servizi

- Il layer N+1 sa solo che i layer inferiori offrono il servizio "N"
- I layer da N in giù sono una "black box" per le entità al layer N+1



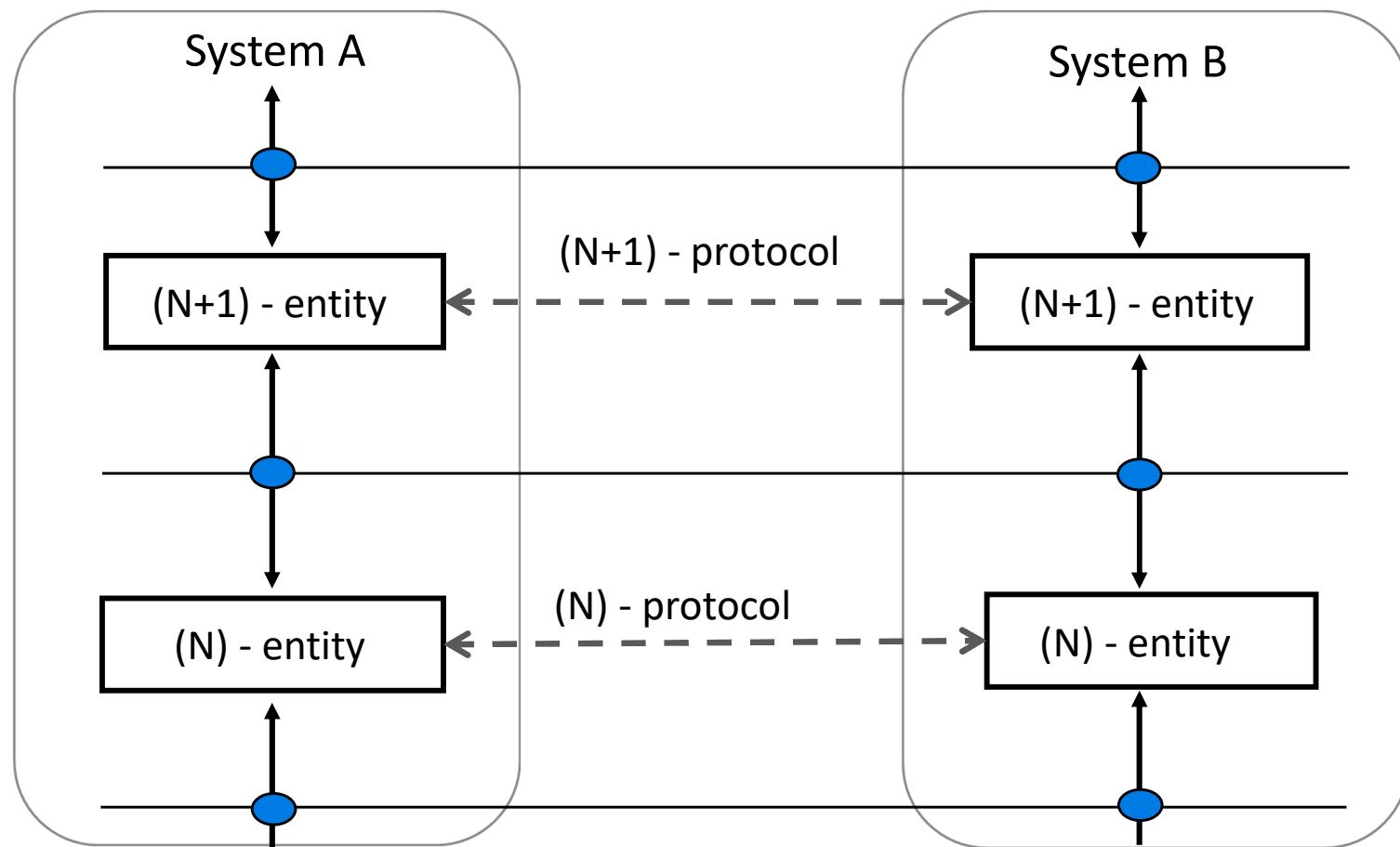
Service access point

- Un servizio del layer N è offerto all'entità di layer N+1 attraverso un'interfaccia di programmazione chiamata Service Access Point (SAP)



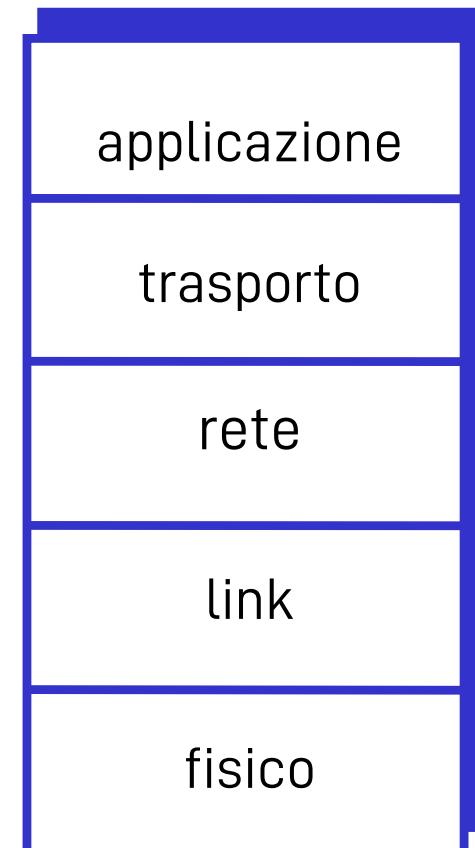
Protocolli

- Lo scambio di informazioni tra entità dello stesso layer è regolata da un **protocollo**



Stack di protocolli Internet

- ❑ **Applicazione:** di supporto alle applicazioni di rete
 - ❖ FTP, SMTP, HTTP, DNS ...
- ❑ **Trasporto:** trasferimento dei messaggi di livello 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):** instradamento dei datagrammi attaverso 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
- Lo stack Internet è privo di questi due livelli
 - ❖ Questi servizi, se *necessario*, possono essere implementati nelle applicazioni
 - ❖ Sono necessari?



Layer 7: Applicazione (Application)

- Fornisce alle applicazioni i mezzi per scambiarsi i dati
- Esempi di servizi
 - ❖ World-wide web (HTTP)
 - ❖ Trasferimento file (FTP)
 - ❖ Email (POP3, IMAP, SMTP)
 - ❖ File sharing peer-to-peer (P2P)
 - ❖ Terminale virtuale remoto (SSH)
 - ❖ ...
- Le data unit di livello 7 si chiamano “messaggi”

Layer 6: Presentazione (Presentation)

- Rappresentazione e codifica/decodifica dei dati
- Conversione dati dal formato host (little endian) al formato della rete (big endian)
- Criptatura
- Spesso integrato con l'applicazione

Layer 5: Sessione (Session)

- Stabilisce e mantiene una sessione di comunicazione tra due entità
 - ❖ Una sessione può essere composta da più connessioni dati che richiedono qualità differenti (es. videochiamata)
- Gestisce lo scambio dati in modo che lo si possa interrompere, riprendere, e terminare
- Maschera eventuali disconnessioni al layer 4
- Spesso integrato con l'applicazione

Layer 4: Trasporto (Transport)

- Risolve i problemi di qualità del servizio del livello 3
- Segmentazione e ricomposizione dei dati
- Multiplexing e demultiplexing di applicazioni
- Funzioni principali (non obbligatorie)
 - ❖ Controllo di flusso
 - ❖ Controllo di errore
 - ❖ Riordino dei pacchetti ricevuti
- I pacchetti di livello 4 sono chiamati "segmenti"
 - ❖ Più raramente "~~datagrammi~~"

Layer 3: Rete (Network)

- Responsabile della consegna di Data Unit tra entità di livello 3 da un host all'altro
- Può fornire diversi servizi
 - ❖ Connection-less: *reti orientate al datagramma*
 - Ogni pacchetto viene instradato indipendentemente
 - ❖ Connection oriented: *reti a circuito virtuale*
 - Stabiliscono una rotta all'inizio delle operazioni di trasferimento dati, e la mantengono per tutti i pacchetti da trasferire
- Funzioni principali
 - ❖ Instradamento pacchetti e inoltro
 - ❖ Controllo di congestione (non obbligatorio)
- I pacchetti di livello 3 sono chiamati “pacchetti” o “datagrammi”

Layer 2: Collegamento (link)

- Fornisce funzionalità di trasferimento di Data Unit tra entità di livello 2, e la correzione di errori avvenuti al livello 1
- Comunicazioni punto-punto ("single-hop")
- Funzioni principali:
 - ❖ Multiplexing e demultiplexing di protocolli layer 3 (LLC sublayer)
 - ❖ Controllo e correzione di errori di trasmissione
 - ❖ Medium access control (MAC sublayer)
 - ❖ Affidabilità
- I pacchetti di livello 2 sono chiamati "frame"

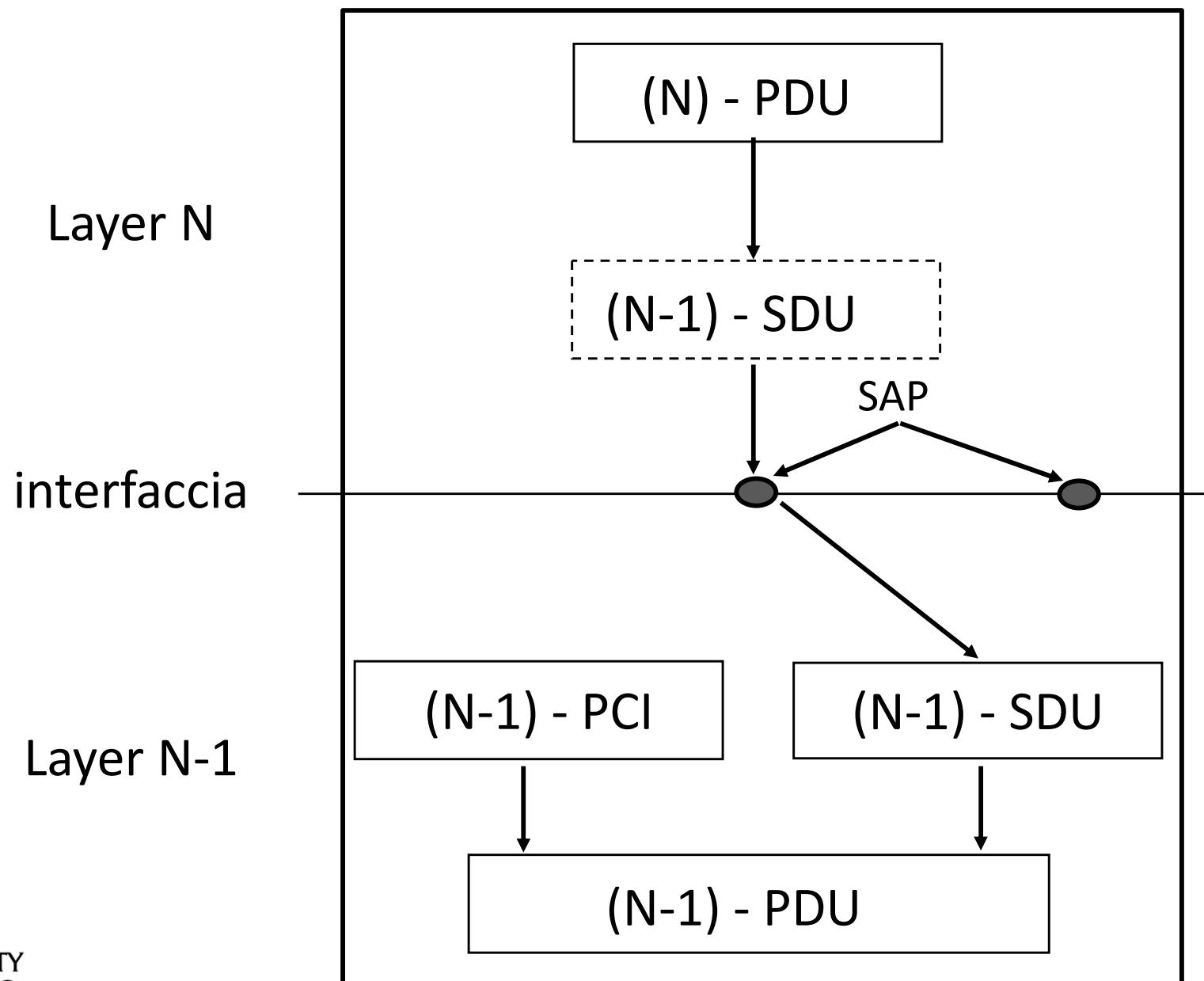
Layer 1: Fisico

- Trasmette bit sul mezzo di comunicazione
 - ❖ Elettrico
 - ❖ Elettromagnetico
 - ❖ Luminoso
 - ❖ Sonoro
- Fornisce i mezzi per creare, mantenere e distruggere connessioni fisiche
- Le Data Unit sono bit, o "simboli" (gruppi di bit multipli)
- Definisce proprietà come la codifica, livelli di tensione elettrica corrispondenti ai bit, la modulazione...

Data Units (DUs)

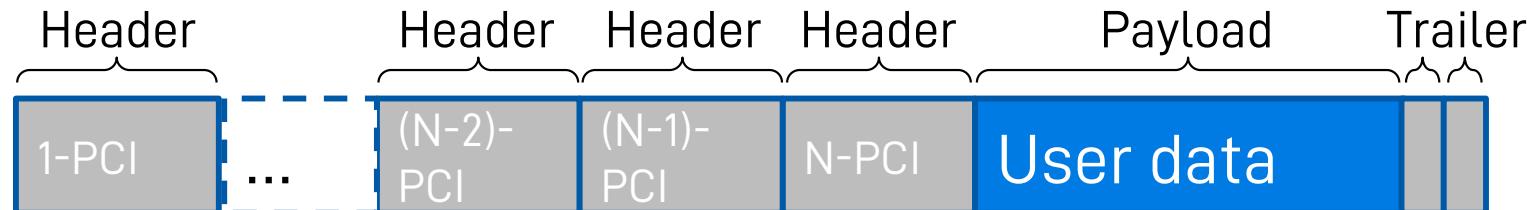
- Come si traduce l'esistenza dei layer nella struttura dei dati inviati attraverso i collegamenti di rete?
- In un sistema con M layer, i dati da trasmettere costituiscono una «M-SDU» (Service Data Unit di Layer M)
 - ❖ A ciò il layer aggancia la propria M-PCI (Protocol Control Information)
 - ❖ Il risultato è una **M-PDU** (Protocol Data Unit)
 - ❖ SDU: *testo di una lettera* PCI: *mittente e destinatario*
- Ogni layer considera la PDU del layer superiore come una «busta chiusa»
- La N-PDU del layer N
 - ❖ E' la (N-1)-SDU del layer N-1
 - ❖ Preponendo la (N-1)-PCI, diventa la (N-1)-PDU
- Al ricevitore, si inverte il processo
 - ❖ Ogni layer rimuove le proprie PCI

Creare una PDU



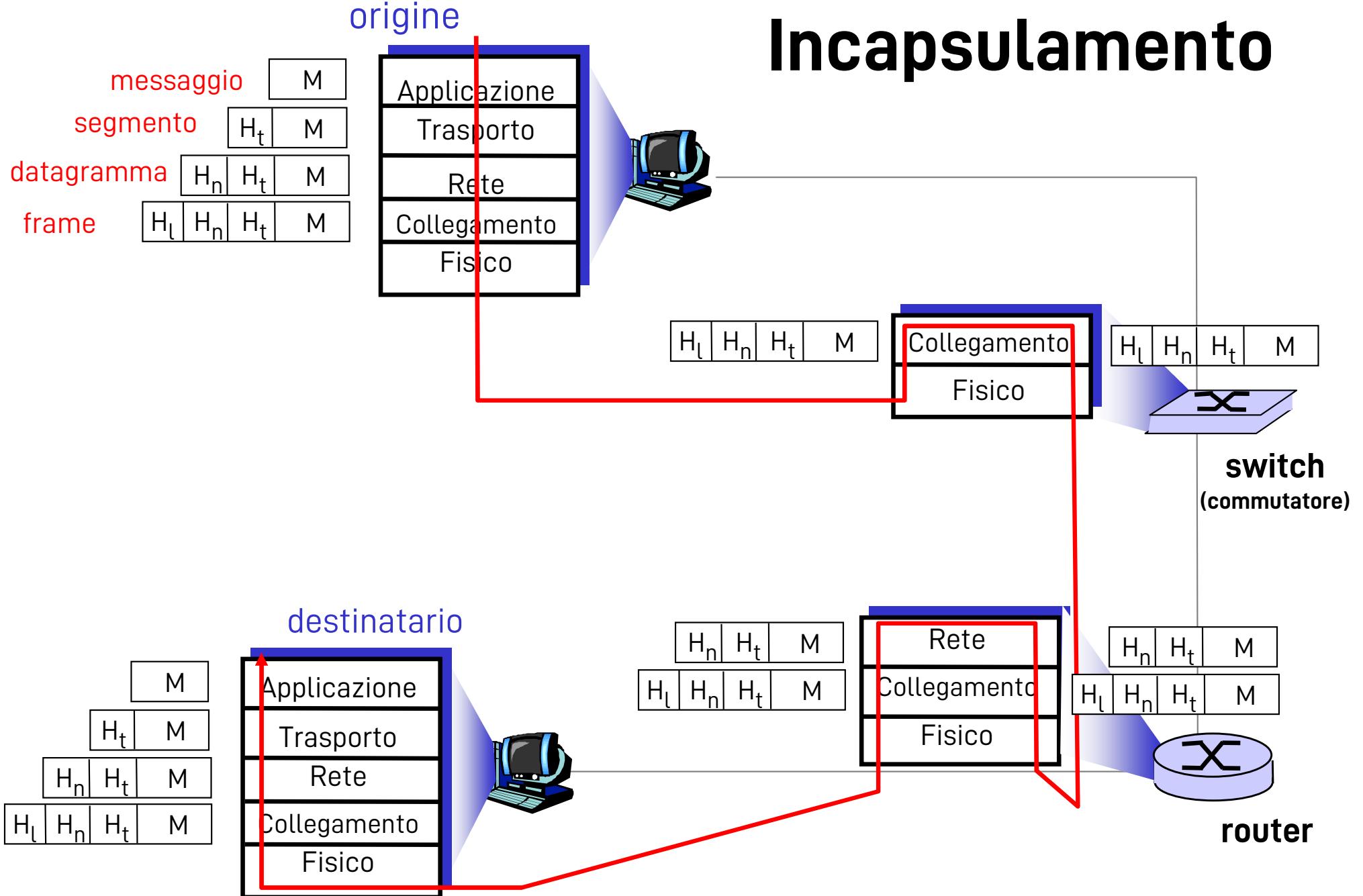
Creare una PDU

- Scendendo lungo lo stack, la PDU diventa un “sandwich” di dati



- Le Data Unit possono essere
 - ❖ Assemblate
 - ❖ Segmentate
 - ❖ Ri-assemblate
- Assemblare può essere necessario per evitare inefficienze
 - ❖ Attendi che arrivino più pagine per riempire una busta
- La segmentazione può aver luogo per l'eccessiva lunghezza dei dati
 - ❖ Spezzare un testo lungo in due pagine, inviare ogni pagina in una busta separata
- Il ri-assemblaggio è il processo inverso della segmentazione

Incapsulamento



Visione d'insieme

TCP/IP DoD Model			OSI Model
Application Layer (Services Layers 5,6,7) PDU: Data	HTTP: port 80 HTTPS/TLS/SSL: port 443 NNTP: port 119 FTP: port 21, 20 Telnet: port 23 SSH: port 22 POP3: port 110 IMAP4: port 143 SMTP: port 25	DNS: port 53 TFTP: port 69 DHCP/BootP: port 67,68 SNMP: port 162, 161 NTP: port 123 Syslog: port 514	Application Layer (7) Scribe. APIs, network services Serves the King/User
Transport Layer (Host to Host Layer 4) PDU: Segments	TCP: protocol 6	UDP: protocol 17	Presentation Layer (6) Translator. Reformats, encrypts/de-crypts, compress/de-compress
Internet Layer (Network Layer 3) PDU: Packets	IP	IP	Session Layer (5) Negotiator. Establishes, manages and ends sessions.
Network Acces Layer 1 & 2 PDU: Frame	Ethernet, PPP Frame Relay MAC addresses, ARP	Ethernet, PPP Frame Relay MAC addresses, ARP	Transport Layer (4) Middle Manager. Segment ID/Assembly
Network Access Layer 1 & 2 PDU: Bits or Data Stream	Electrons, RF or Light	Electrons, RF or Light	Network Layer (3) Mail Room Guy. IP Addressing/Routing
			Data-Link Layer (2) Envelope Stuffer. Organizes bits into frames
			Physical Layer (1) The Truck. Movement of bits.

Visione d'insieme

Layer #	Layer Name	Protocol	Protocol Data Unit	Addressing
5	Application	HTTP, SMTP, etc...	Messages	n/a
4	Transport	TCP/UDP	Segments/Datagrams	Port #s (16 bit)
3	Network or Internet	IP	Packets	IP Address (32 bit)
2	Data Link	Ethernet, Wi-Fi	Frames	MAC Address (48 bit)
1	Physical	10 Base T, 802.11	Bits	n/a

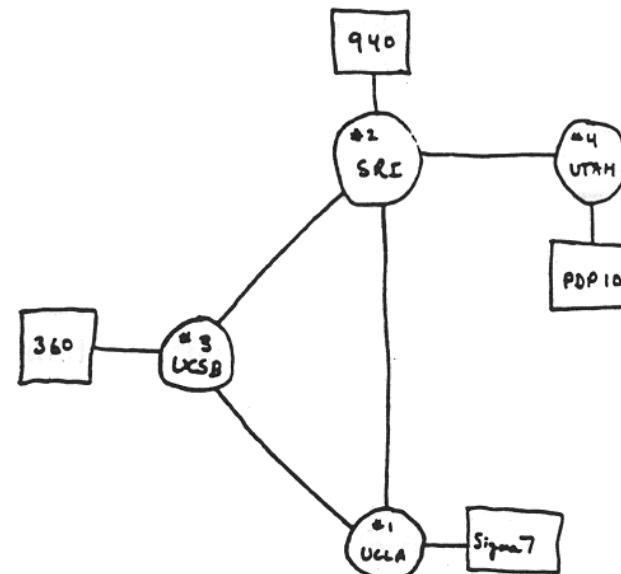
Capitolo 1: roadmap

- 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 (Breve) Storia del computer networking e di Internet

Storia di Internet (non tema d'esame)

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
- 1972:
 - ❖ Dimostrazione pubblica di ARPAnet
 - ❖ NCP (Network Control Protocol), primo protocollo tra nodi
 - ❖ Primo programma di posta elettronica
 - ❖ ARPAnet ha 15 nodi



THE ARPA NETWORK

Storia di Internet (non tema d'esame)

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 (non tema d'esame)

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: Csnets, BITnet, NSFnet, Minitel
- 100.000 host collegati

Storia di Internet (non tema d'esame)

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 – 2007:
- arrivano le "killer applications": messaggistica istantanea, condivisione di file P2P
 - sicurezza di rete
 - 50 milioni di host, oltre 100 milioni di utenti
 - velocità nelle dorsali dell'ordine di Gbit/s

Storia di Internet (non tema d'esame)

2008:

- ~ 500 milioni di host
- Voice, Video over IP
- Applicazioni P2P: BitTorrent
(condivisione di file) Skype
(VoIP), PPLive (video)...
- Più applicazioni: YouTube,
gaming
- wireless, mobilità

2012:

- ~2 miliardi di utenti
- Cloud computing
- Apps e Social Networks
- Più dispositivi: smartphone,
tablet, l'Internet of Things (IoT)
- Sicurezza e privacy

2020:

- 4.39 miliardi di utenti
- Internet "sparisce" (IoT)
- 5G, Cloud/Fog/MEC
- Sicurezza e privacy

Riassunto

Quite a lot of stuff so far ☺

- Panoramica di Internet
- Cos'è un protocollo?
- Ai confini e nel cuore delle reti
 - ❖ Comutazione 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 nel seguito