



POLITECNICO
MILANO 1863



Fondamenti di Comunicazioni e Internet

Antonio Capone



1 – Introduzione e Architetture

Antonio Capone



1a – Introduzione al corso

**Scopo e finalità, testi e materiale,
esami, contatti**

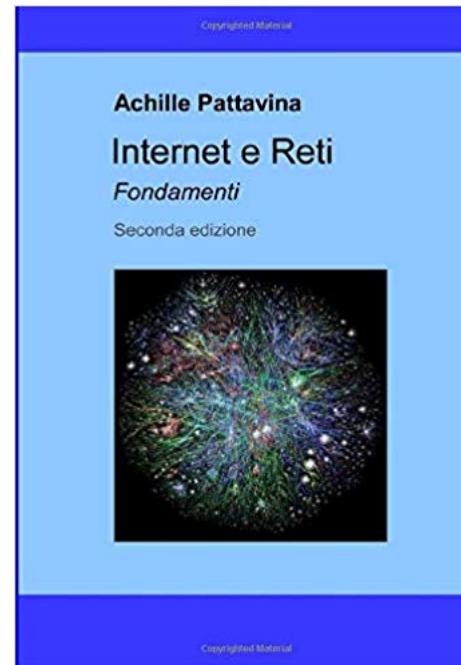
Docente

- **Prof. Antonio Capone**
- **Ufficio:**
 - Campus Leonardo: Presidenza, ed. 2, piano terra
 - Campus Bovisa: Presidenza (ed. di fronte aereo)
- **Tel: (02 2399) 3449**
- **E-mail: antonio.capone@polimi.it**
 - Subject deve contenere **#FCI**
- **Web page: <http://home.deib.polimi.it/capone/>**
- **Orario di ricevimento:**
 - Leonardo: Martedì 14.00-15.30
 - Bovisa: Mercoledì 8:30-10:00
- **Collaboratore per laboratori:**
 - Ing. Andrea Pimpinella (andrea.pimpinella@polimi.it)
 - Ing. Daniele Moro (daniele.moro@polimi.it)
 - Tutor: Luca Danelutti



Materiale didattico

- **Testo di riferimento:**
 - Achille Pattavina
Internet e Reti: Fondamenti
Amazon



Materiale didattico

- **Altro materiale**
 - Slides delle lezioni
 - Appunti delle esercitazioni
 - Materiale a supporto delle attività di laboratorio
 - Video lezioni di supporto (canale YouTube)
 - Letture suggerite (link, articoli)
 - Tool per lezioni e laboratorio
- **Tutto il materiale è disponibile sulla pagina web del corso cui si accede dalla pagina personale del docente**
- **E' stato anche attivato il canale Beep dove verrà comunque postato il materiale aggiornato**



Home Page del corso

<http://www.antlab.polimi.it/teaching-capone/fondamenti-di-internet-e-reti>



Antonio Capone

Antonio's Home

Biography and Services

Publications

Teaching

- Wireless Networks
- Fondamenti di Internet e Reti**
- Lab Fond. di Internet e Reti
- Office hours
- Fundamentals of Communications Networks
- CISCO Networking Academy

Antonio's Fondamenti di Comunicazione e Internet

[Prof. Antonio Capone](#)

Ricevimento:

(controllare sempre [questa pagina](#) per aggiornamenti)

- Campus Leonardo: Martedì 14.00-15.30 (DEIB, edificio 20, terzo piano)
- Campus Bovisa: Mercoledì 8:30-10:00 (Edificio presidenza, di fronte piazza aerea, primo piano) - solo durante il secondo semestre -

Anno accademico 19-20

1. [News](#)
2. [Orario](#)
3. [Materiale didattico per lezioni ed esercitazioni](#)
4. [Canale video del corso](#)
5. [Tempi d'esame](#)
6. [Laboratorio e strumenti sw](#)
7. [Libri](#)
8. [Letture di approfondimento](#)

Main Menu

Login Form

ANTLab

Staff

News:

[22/02/2020] Inizio del corso FCI del a.a. 19-20: è stato attivato il canale Beep



POLITECNICO MILANO 1863

FCI - 1 - Introduzione

Organizzazione del corso

- **Mix didattico:**
 - Lezione: 58 ore (circa)
 - Esercitazione: 24 ore (circa)
 - Laboratorio: 18 ore
- **Le esercitazioni sono inserite alla fine di ciascun argomento (non c'è una programmazione settimanale fissa)**
- **Il laboratorio si svolge in aula connessa senza PC, è necessario portare il proprio laptop (BYOD)**



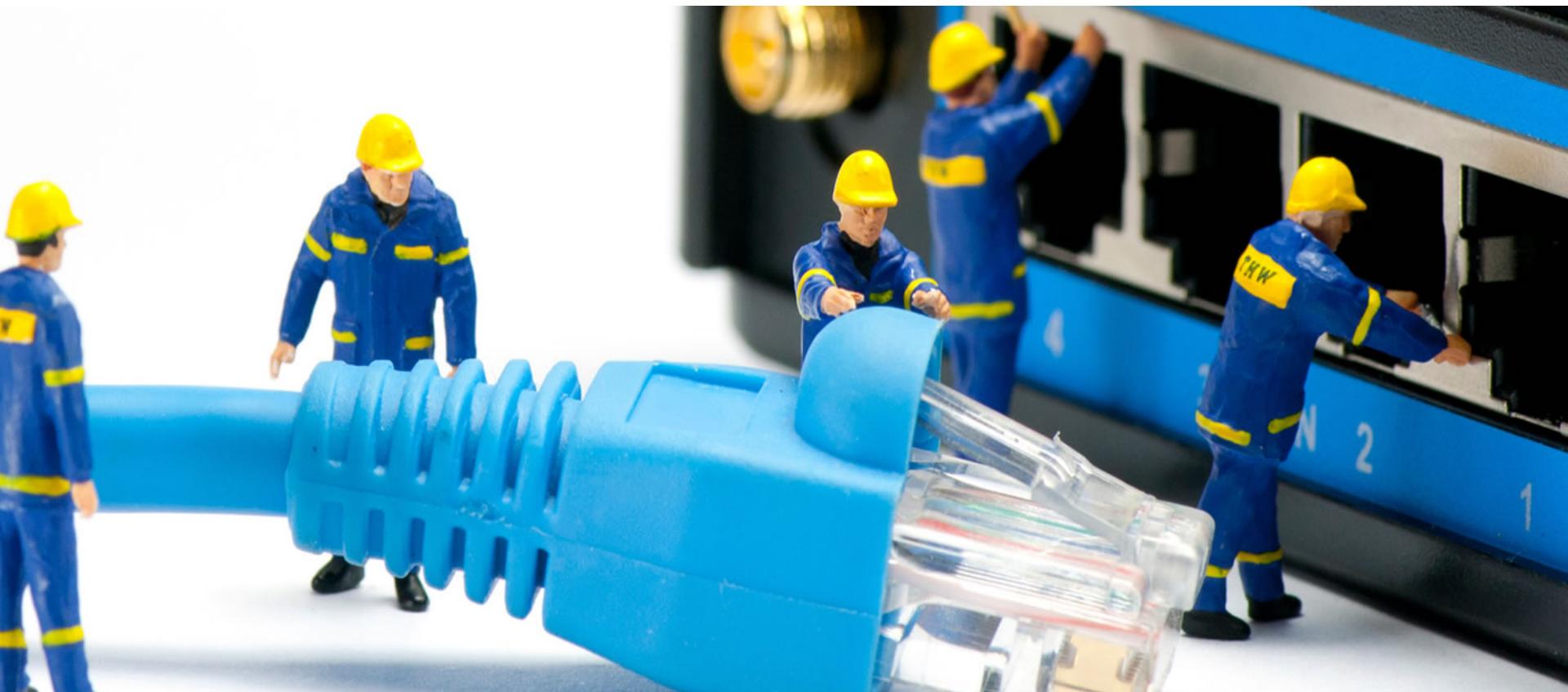
Modalità d'esame

- **Due prove in itinere**
 - Prova 1: 9 Aprile
 - Prova 2: 19 Giugno
 - Durante prova 2, anche appello completo
- **Esame solo scritto**
 - 3 esercizi simili a quelli visti a lezione/esercitazione
 - Prova di laboratorio (prima e seconda parte) al calcolatore in date che verranno comunicate
 - Domande (risposta aperta e/o chiusa)
 - (di solito: 5/6 pt per esercizio, 8/9 pt domande, 6 pt laboratorio, totale 33 pt)
 - Laboratorio 6 punti se fatto durante il corso, 3 punti se fatto in forma di domanda scritta negli appelli
- **Test online durante il corso ([kahoot.it](#))**
 - Punti extra per chi frequenta
 - Alla fine di ogni parte/capitolo in classe (usando PC, tablet, o smartphone)
 - 3 pt x frazione di risposte esatta su totale complessivo
 - 1 pt premio a chi vince la gara di ogni parte/capitolo
- **Orale solo a discrezione del docente (e solo in caso estremi di comportamenti anomali)**



Scopo del corso

Iniziare a trasformarvi in esperti di Internet !



Scopo del corso

- **Fornire le conoscenze fondamentali sul funzionamento della rete tra calcolatori che oggi è alla base della quasi totalità dei servizi di comunicazione**
 - Audio e video telefonia
 - TV, video streaming, video on demand
 - Web, mobile apps, e accesso a DB in genere
 - Email
 - Messaging, chat
 - Social networks
 - Mappe e navigazione
 - Strumenti di collaborazione e condivisione
 - e molte altre ...



Scopo del corso

E in base a queste conoscenze imparare a:

Controllare l'interazione tra le applicazioni e la rete

Configurare la rete e le sue componenti

Prevedere il comportamento della rete calcolandone le prestazioni

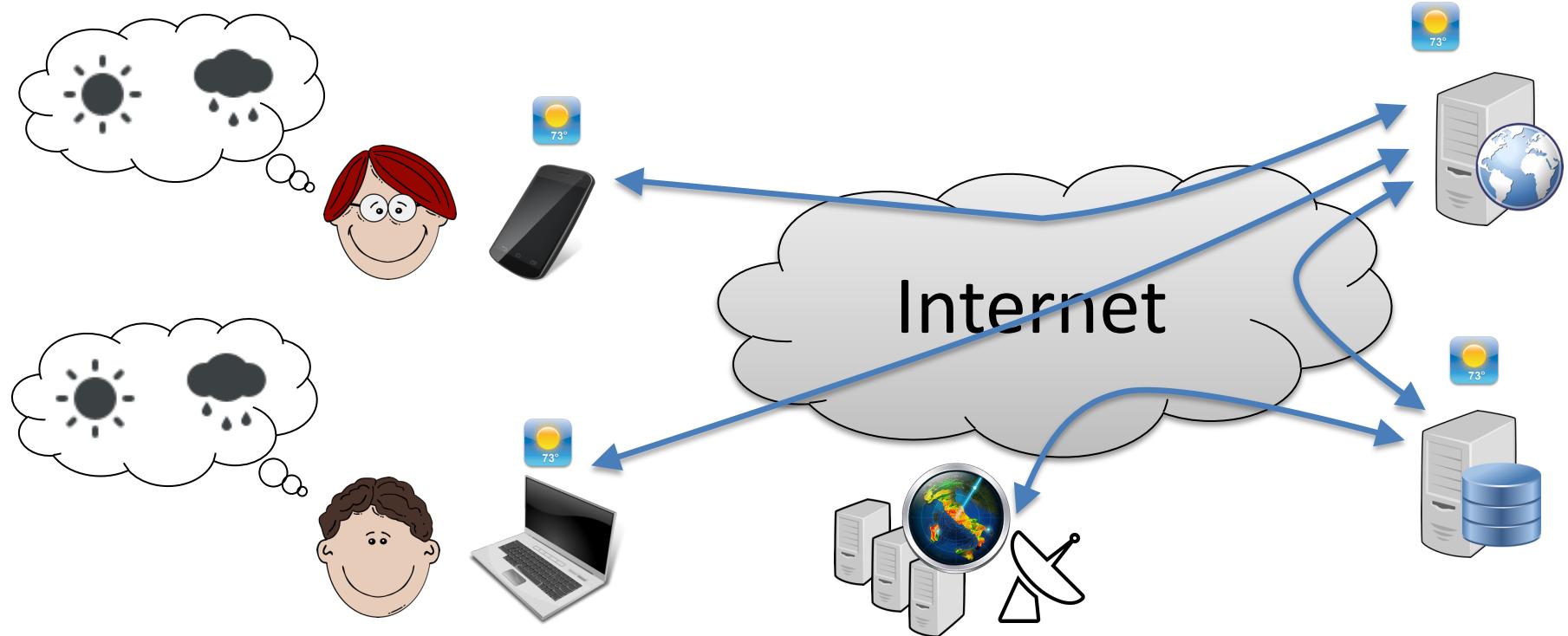
Monitorare il comportamento del sistema e risolvere i problemi

Essere pronti ai cambiamenti tecnologici della rete
(imparare ad imparare)



A cosa serve

- Tutti questi servizi del mondo della società dell'informazione sono **applicazioni distribuite**
- Le applicazioni distribuite sono programmi in esecuzione su più calcolatori che **scambiano dati tra loro usando Internet**



Vecchi mondi che non esistono più

Applicazioni isolate

- Elaborazioni isolate
- Scambio dati su rete

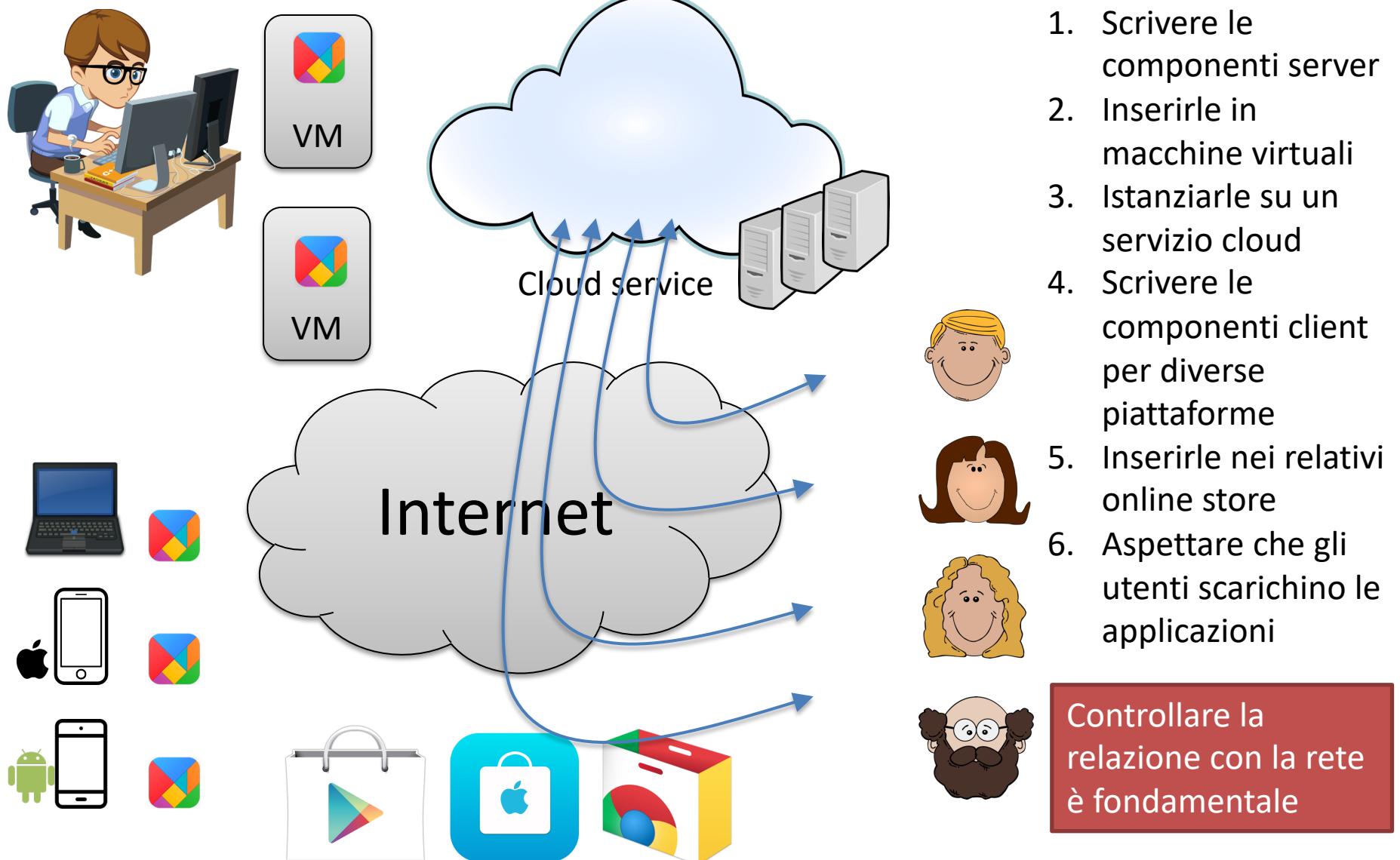


Reti di telecomunicazione

- Reti dedicate ai servizi
- Nessuna elaborazione

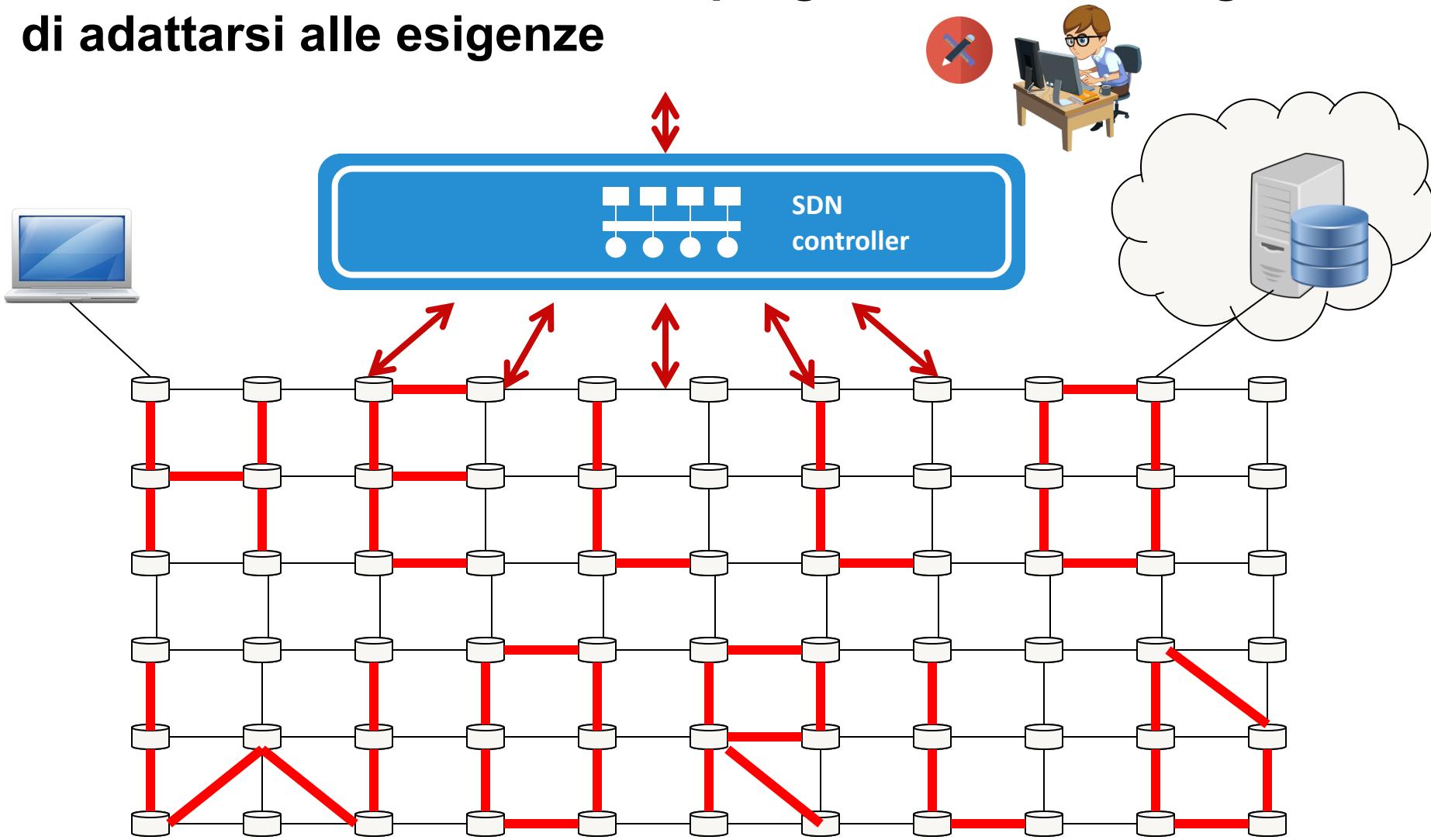


Cosa significa oggi sviluppare un'applicazione



Applicazioni di rete: Software Defined Networking

Anche la rete sta diventando programmabile ed in grado di adattarsi alle esigenze



Le conoscenze per l'ingegneria dell'informazione

Le competenze richieste a chi:

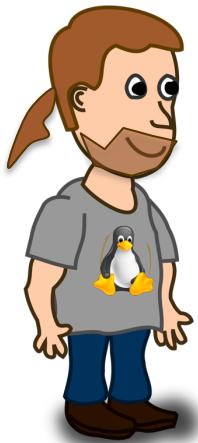


Sviluppa
applicazioni e
servizi

Costruisce la rete e
i suoi servizi di
comunicazione



Sono sempre più integrate

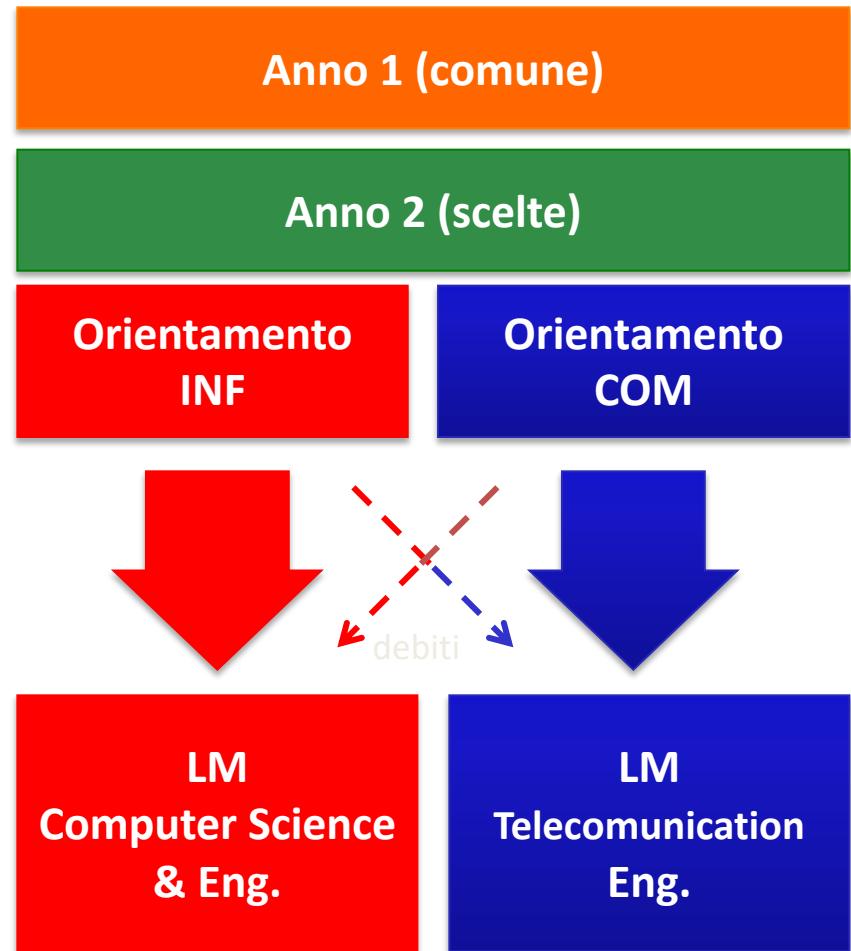


Per qualunque ingegnere che opera nel settore
dell'informazione è fondamentale sia saper
sviluppare applicazioni e servizi su piattaforme
diverse sia progettare e gestire la rete e i servizi di
comunicazione



Percorso didattico in Informatica e Comunicazioni

- Come sapete i due percorsi didattici sono stati integrati
- E' possibile rimanere puri (**INF** o **COM**) ma sono state progettate delle ibridazioni
- E una serie di corsi che consentono una solida preparazione multidisciplinare



Caselle a scelta del secondo anno

2o Anno							
Codice	Att. Form.	SSD	Denominazione Insegnamento	Sem	CFU	CFU Gruppo	
85778	A	MAT/05	ANALISI MATEMATICA 2	1	10	10	
85779	A,B	ING-INF/05	ARCHITETTURA DEI CALCOLATORI E SISTEMI OPERATIVI	1	10	10	
85903	C	MAT/01 MAT/02	LOGICA E ALGEBRA	1	5	10	
--	--	--	Insegnamento a scelta dal Gruppo TABA	1	5		
93506	B	ING-INF/02	ELETTROMAGNETISMO E CAMPI	1	10	10	
99319	A	MAT/06	PROBABILITÀ E STATISTICA PER L'INFORMATICA	2	10		
99320	B	ING-INF/03	INFORMAZIONE E STIMA	2	10	11	
86067	A,B	ING-INF/05	ALGORITMI E PRINCIPI DELL'INFORMATICA	2	10		
99321			Prova finale (progetto di algoritmi e strutture dati)	2	1		
99322	B	ING-INF/03	SEGNALI PER LE COMUNICAZIONI	2	10		
99323			Prova finale (progetto di segnali per le comunicazioni)	2	1		
85905	B	ING-INF/04	FONDAMENTI DI AUTOMATICA	2	10	10	



Caselle a scelta del secondo anno

3 scelte:

2o Anno							
Codice	Att. Form.	SSD	Denominazione Insegnamento	Sem	CFU	CFU Gruppo	
85778	A	MAT/05	ANALISI MATEMATICA 2	1	10	10	
85779	A,B	ING-INF/05	ARCHITETTURA DEI CALCOLATORI E SISTEMI OPERATIVI	1	10	10	
85903	C	MAT/01 MAT/02	LOGICA E ALGEBRA	1	5	10	
--	--	--	Insegnamento a scelta dal Gruppo TABA	1	5		
93506	B	ING-INF/02	ELETTROMAGNETISMO E CAMPI	1	10		
99319	A	MAT/06	PROBABILITÀ E STATISTICA PER L'INFORMATICA	2	10	10	
99320	B	ING-INF/03	INFORMAZIONE E STIMA	2	10		
86067	A,B	ING-INF/05	ALGORITMI E PRINCIPI DELL'INFORMATICA	2	10	11	
99321			Prova finale (progetto di algoritmi e strutture dati)	2	1		
99322	B	ING-INF/03	SEGNALI PER LE COMUNICAZIONI	2	10		
99323			Prova finale (progetto di segnali per le comunicazioni)	2	1		
85905	B	ING-INF/04	FONDAMENTI DI AUTOMATICA	2	10	10	



Casella probabilità

99319	A	MAT/06	PROBABILITÀ E STATISTICA PER L'INFORMATICA	2	10	10
99320	B	ING-INF/03	INFORMAZIONE E STIMA	2	10	

La scelta tra i corsi di

- Probabilità e statistica per l'informatica (PES)
- Informazione e stima (IES)

è completamente libera a scelta dello studente e non vincola scelte successive!

I due corsi hanno contenuto simile e introducono alla probabilità e i processi casuali, con differenze nell'approccio e negli esempi applicativi.

- Il corso PES è insegnato da docenti di matematica,
- Il corso di IES è insegnato da un docente con background di ingegneria e teoria dell'informazione



Gli obblighi e le altre scelte

85903	C	MAT/01 MAT/02	LOGICA E ALGEBRA	1	5	10
--	--	--	Insegnamento a scelta dal Gruppo TABA	1	5	
93506	B	ING-INF/02	ELETTRONAGNETISMO E CAMPI	1	10	

86067	A,B	ING-INF/05	ALGORITMI E PRINCIPI DELL'INFORMATICA	2	10	11
99321			Prova finale (progetto di algoritmi e strutture dati)	2	1	
99322	B	ING-INF/03	SEGNALI PER LE COMUNICAZIONI	2	10	
99323			Prova finale (progetto di segnali per le comunicazioni)	2	1	

Per chi deciderà di fare l'indirizzo **INFORMATICA**, i corsi di:

- Logica e Algebra
- Algoritmi e Principi dell'Informatica

sono obbligatori, **ma possono essere inseriti al 2° o 3° anno**

Per chi deciderà di fare l'indirizzo **COMUNICAZIONI**, il corso di:

- Segnali per le Comunicazioni

è obbligatorio, **ma può essere inserito al 2° o 3° anno**



Ruolo della TABA

TABA						
Codice	Att. Form.	SSD	Denominazione Insegnamento	Sem	CFU	
85899	B	ING-INF/07	MISURE	1	5	
99318	B	ING-INF/02	ONDE ELETTRONICHE E MEZZI TRASMISSIVI	1	5	
85900	A	CHIM/07	CHIMICA GENERALE	1	5	

Il corso di

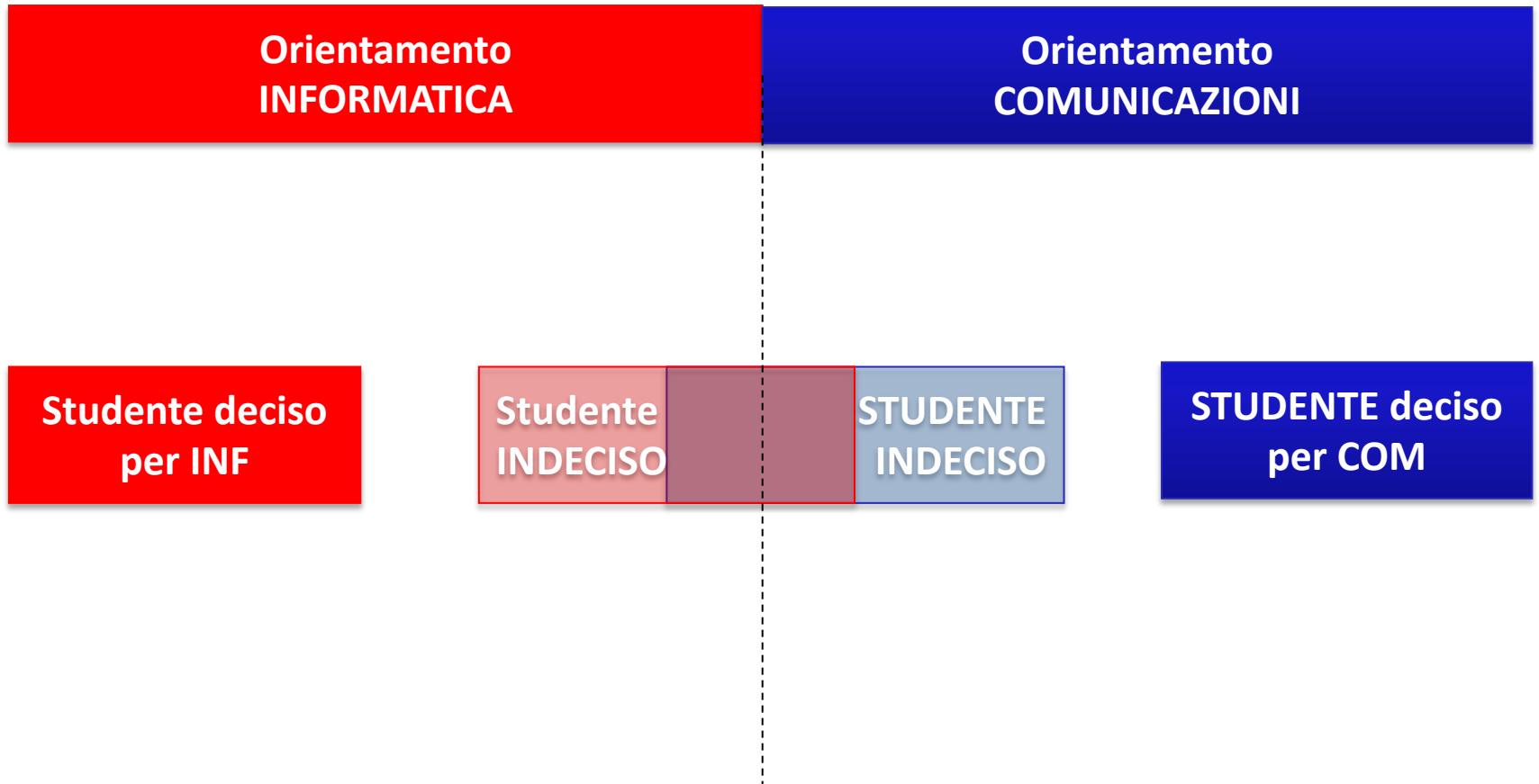
- Onde elettromagnetiche e mezzi trmissivi

È un corso con tematiche dell'indirizzo COMUNICAZIONI e contenuti legati agli aspetti applicativi dei campi elettromagnetici

Può essere usato dagli indecisi o da chi vuole fare delle ibridazioni che curino sia la parte di COM che di INF.



Possibili scenari di scelta



Scenario 1: studente già deciso a fare INFORMATICA

Studente deciso
per INF

- a) Sceglie liberamente tra i corsi di probabilità
- b) Sceglie:
 - Logica e Algebra + TABA
- c) Sceglie
 - Algoritmi e Principi dell'Informatica



Scenario 2: studente INDECISO (ma più incline a fare informatica)

Studente
INDECISO

a) Sceglie:

- Informazione e Stima

b) Sceglie:

- Logica e Algebra
- Onde elettromagnetiche e mezzi trasmissivi

c) Sceglie

- Algoritmi e Principi dell'Informatica

Poi al 3° anno

- Se si sceglie Informatica: Nessun vincolo
- Se si sceglie Comunicazioni: seleziona Segnali per le Comunicazioni



Scenario 3: studente INDECISO (ma più incline a fare comunicazioni)

STUDENTE
INDECISO

a) Sceglie:

- Informazione e Stima

b) Sceglie:

- Elettromagnetismo e Campi

oppure

- Logica e Algebra

- Onde elettromagnetiche e mezzi trasmittivi

c) Sceglie

- Segnali per le comunicazioni

Poi al 3° anno

- Se si sceglie Comunicazioni: Nessun vincolo

- Se si sceglie Informatica: seleziona Algoritmi e Principi dell'Informatica e Logica e algebra



Scenario 4: studente già deciso a fare COMUNICAZIONI

STUDENTE deciso
per COM

a) Sceglie liberamente tra i corsi di probabilità

b) Sceglie:

- Elettromagnetismo e Campi

c) Sceglie

- Segnali per le Comunicazioni





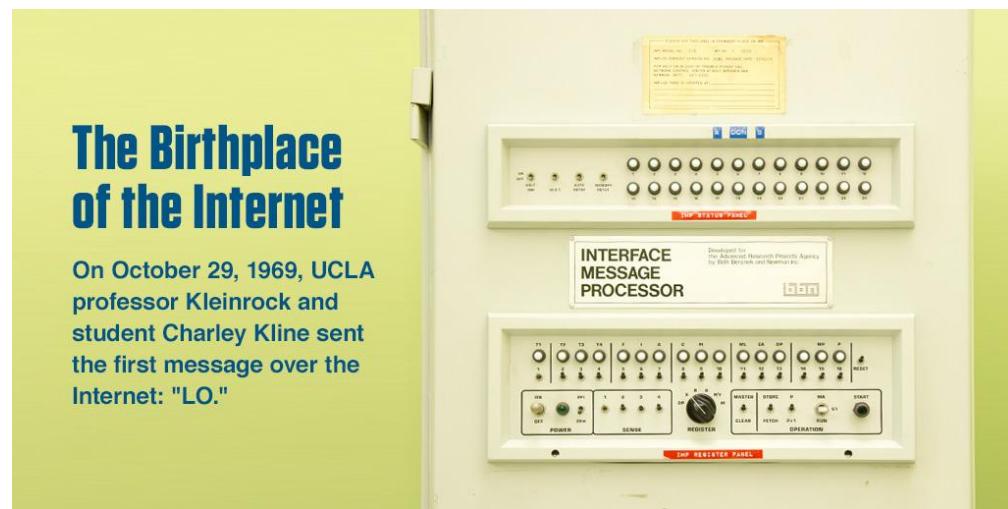
1c – Piccola storia di Internet

Nascita di Internet, progetto ARPANET, primi protocolli, evoluzione fino ai giorni nostri

Piccola storia di Internet



20 Luglio 1969



29 Ottobre 1969



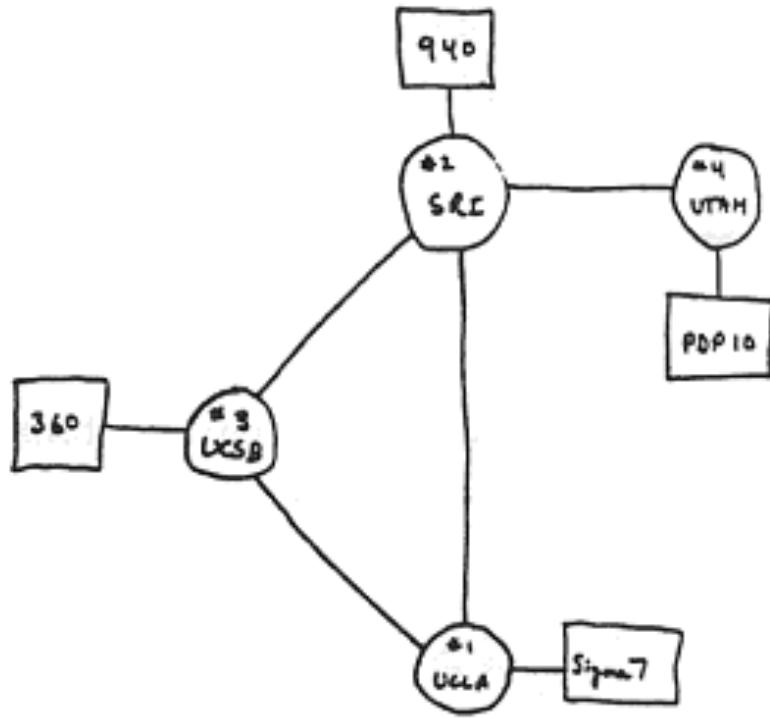
Piccola storia di Internet



Prof. Leonard Kleinrock



Piccola storia di Internet



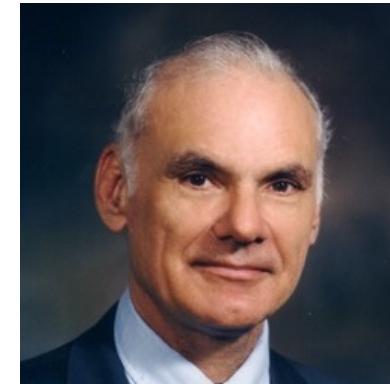
THE ARPA NETWORK

DEC 1969



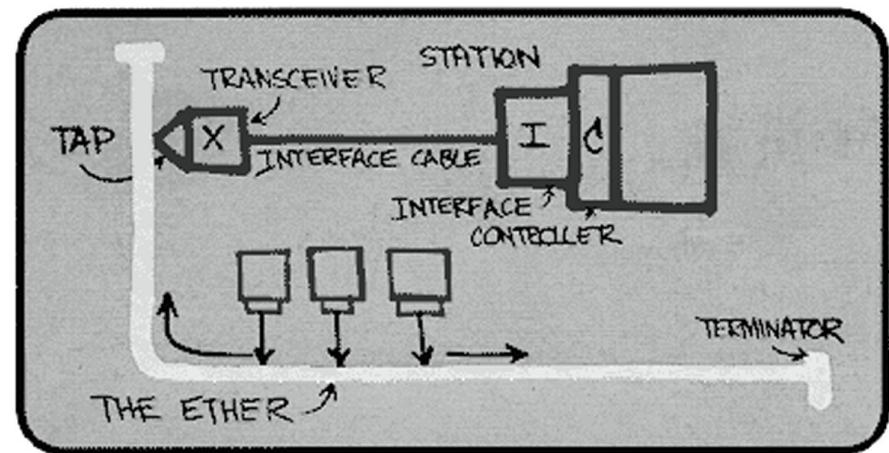
Storia di Internet: anni '60

- **1961:** Kleinrock – dimostra l'efficacia della commutazione di pacchetto grazie alla teoria delle code
- **1967:** Lawrence Roberts progetta ARPAnet (Advanced Research Projects Agency)
- **1969:** primo nodo di IMP (Interface Message Processor) di ARPAnet a UCLA



Storia di Internet: anni '70

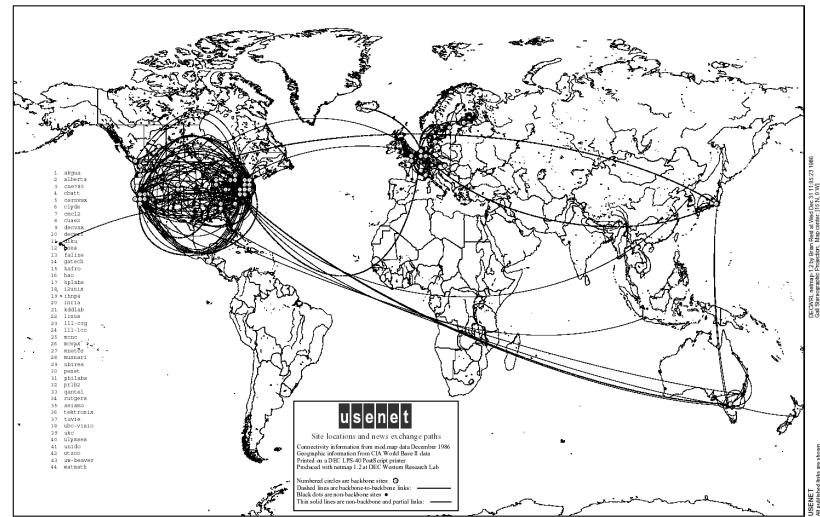
- **1972:**
 - Nasce NCP (Network Control Protocol) il primo protocollo di Internet
 - Primo programma per la posta elettronica
 - ARPAnet ha 15 nodi
- **1970:**
 - ALOHAnet rete radio a pacchetti al Univ. of Hawaii
- **1974:**
 - Cerf and Kahn – definiscono i principi dell'internetworking (rete di reti)
- **1976:**
 - Nasce Ethernet nei laboratori di Xerox
- **1979:**
 - ARPAnet ha 200 nodi



Storia di Internet: anni '80

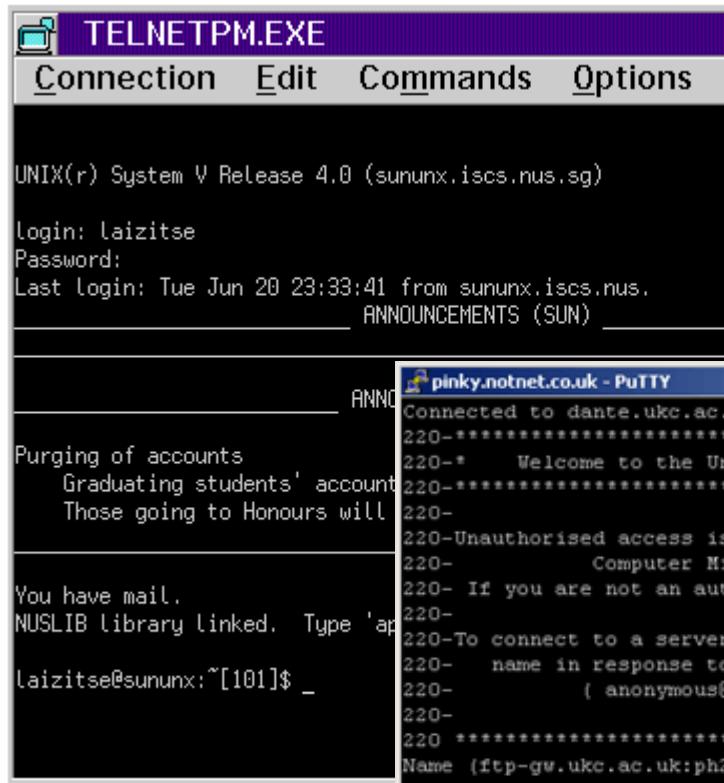
- **1982:** definizione del protocollo SMTP per la posta elettronica
- **1983:** rilascio di TCP/IP che sostituisce NCP
- **1983:** definizione del DNS per la traduzione degli indirizzi IP
- **1985:** definizione del protocollo FTP
- **1988:** controllo della congestione TCP

- **Nuove reti nazionali: Csnets, BITnet, NSFnet, Minitel**
- **100.000 host collegati**

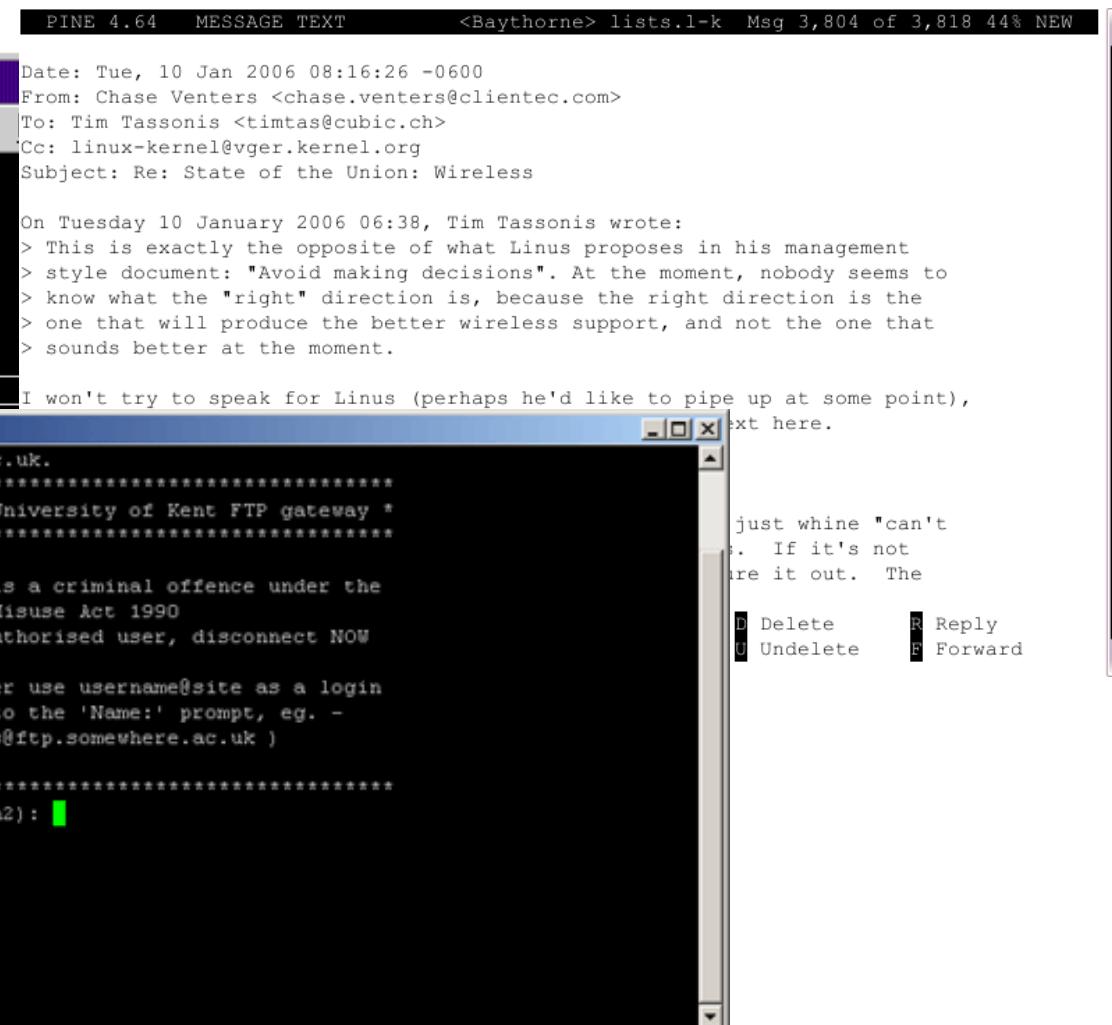


Storia di Internet: Le prime applicazioni

Telnet



Email

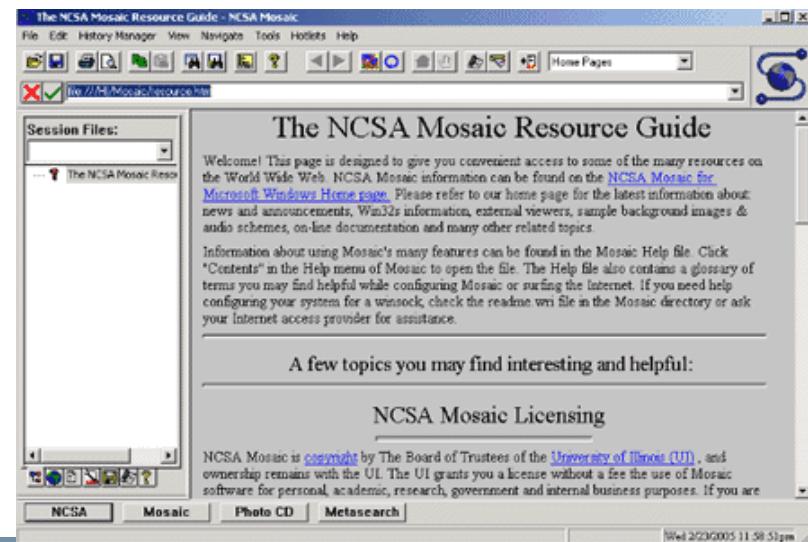
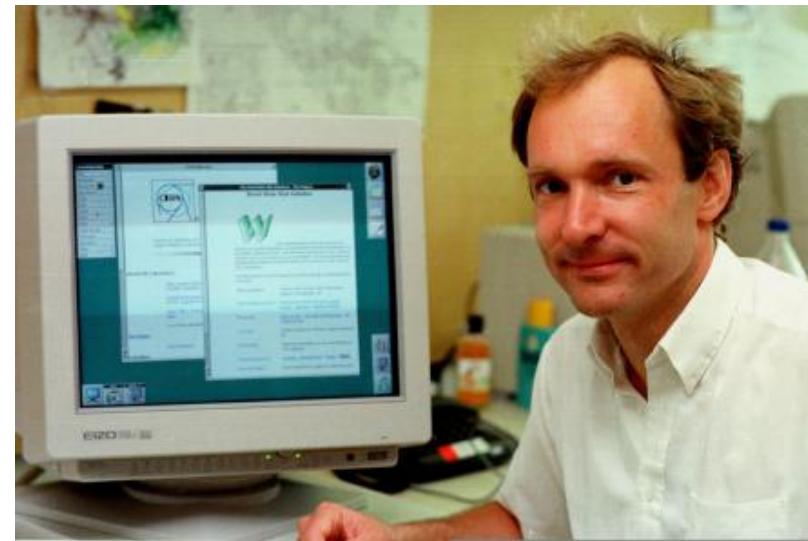


FTP



Storia di Internet: anni '90

- **1990:** ARPAnet viene dismessa
- **1991:** NSF lascia decadere le restrizioni sull'uso commerciale di NSFnet
- **Primi anni '90:** Tim Berners-Lee inventa il web al Cern di Ginevra
- **1994:** Mosaic, poi Netscape
- **Fine '90 :** commercializzazione del Web



Storia di Internet: anni '00

2000 – 2009:

- Arrivano le “killer applications”: messaggistica istantanea, condivisione di file P2P, IP Telephony, social networks
- La sicurezza di rete diventa un problema
- Centinaia di milioni di host, un miliardo di utenti
- Velocità nelle dorsali dell'ordine dei Gbps



Shawn
Fanning



Diffie-Hellman-Merkle



Zuckerberg



Storia di Internet: anni '10

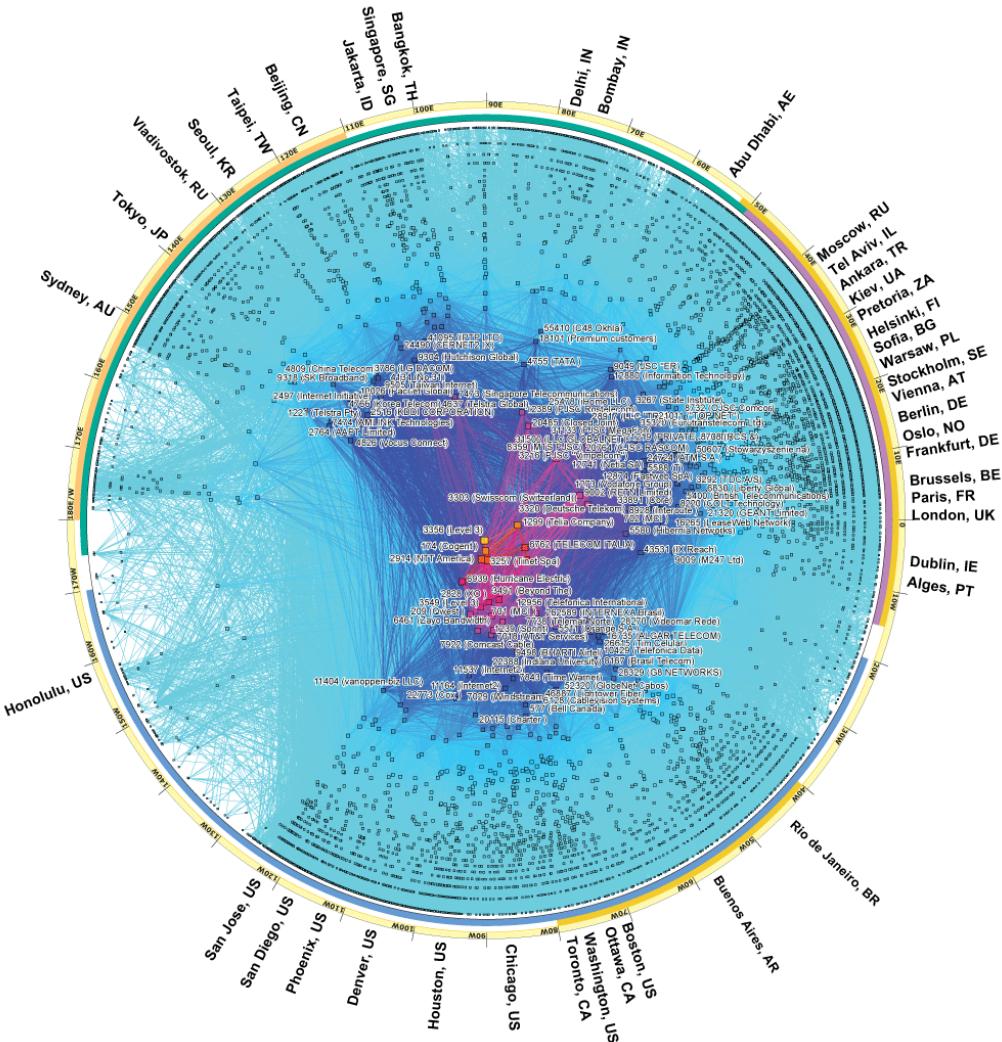
2010 – oggi:

- Esplosione della *Mobile Internet*
- Arrivano gli smartphone
- La telefonia si trasferisce definitivamente su Internet
- I contenuti video diventano il traffico predominante sulla rete



Mappa di Internet oggi

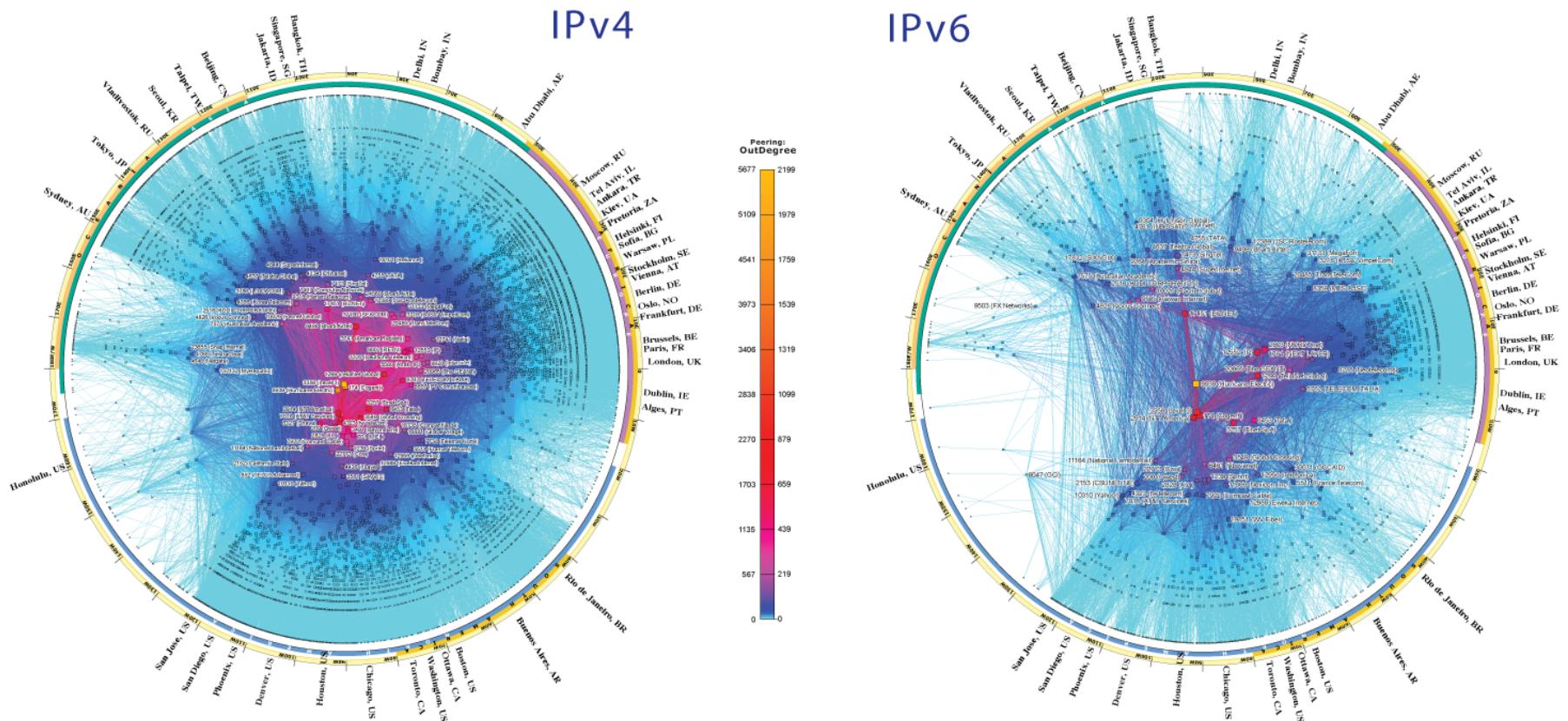
CAIDA's IPv4 Map
Feb 2017



Mappa di Internet oggi

CAIDA's IPv4 & IPv6 AS Core AS-level INTERNET GRAPH

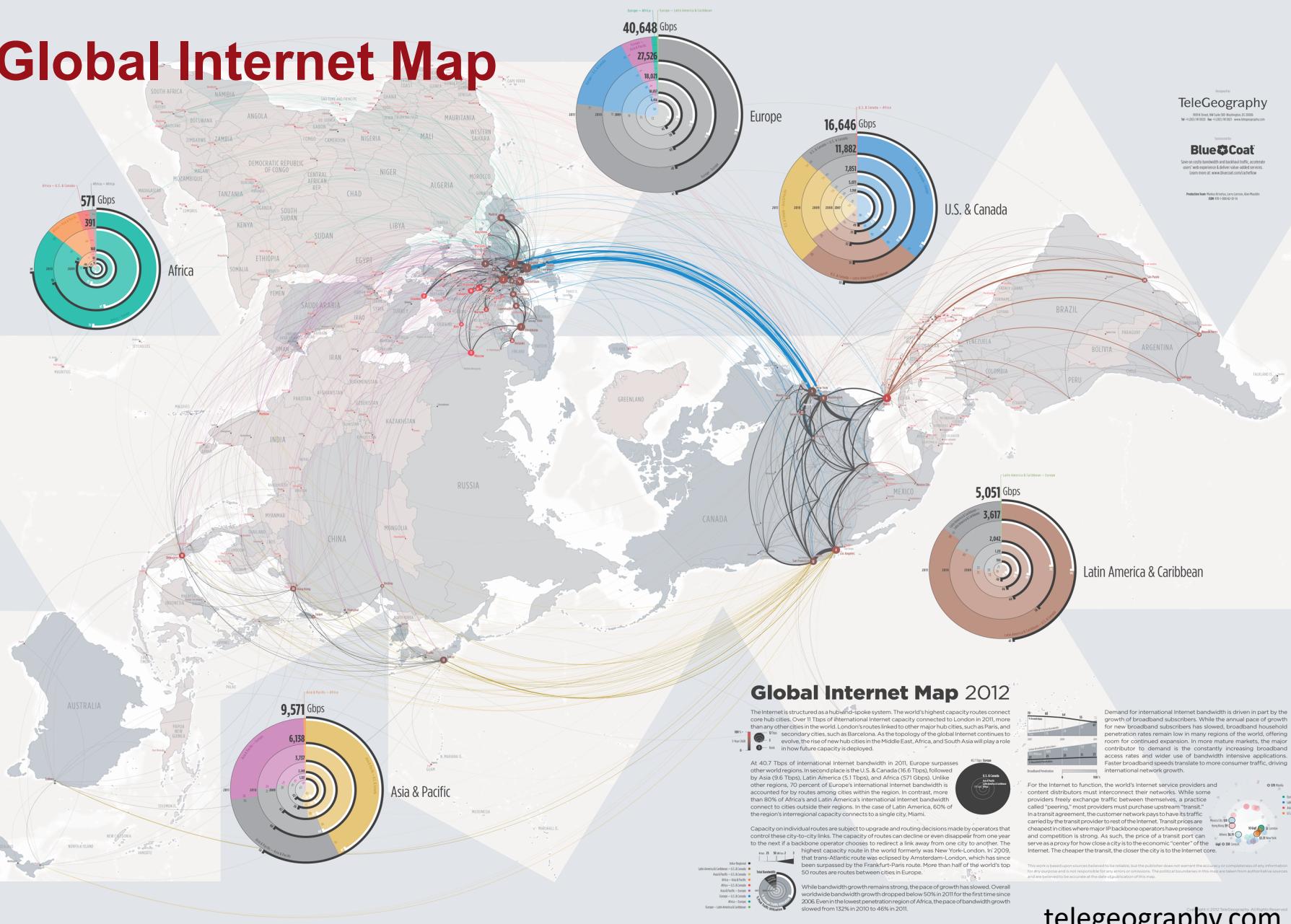
Archipelago January 2015



Copyright © 2015 UC Regents. All rights reserved.

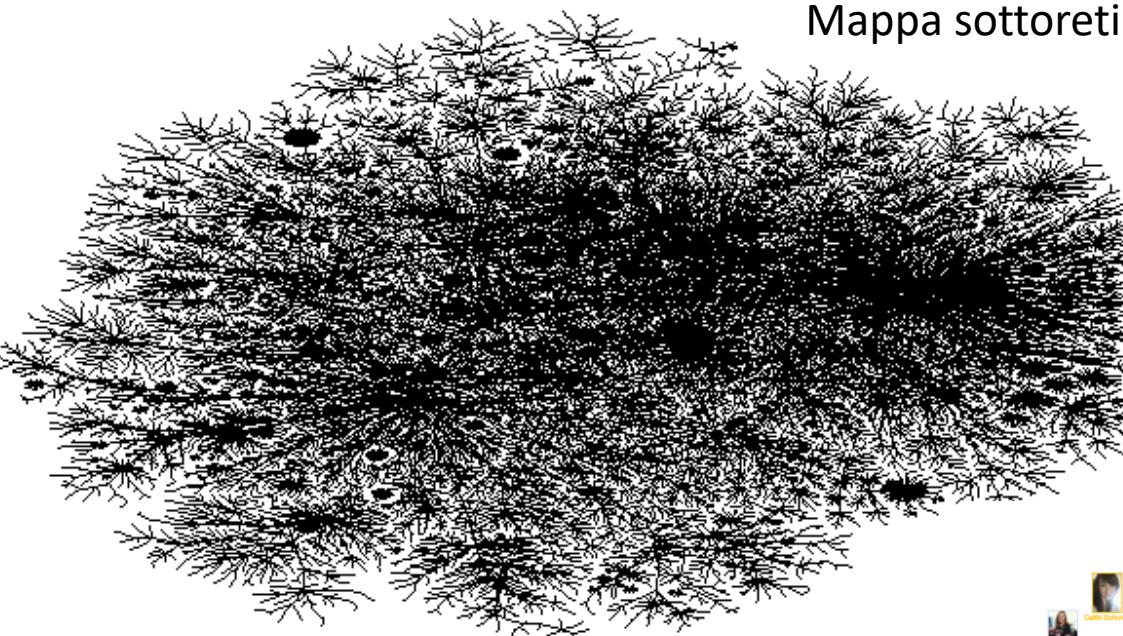


Global Internet Map

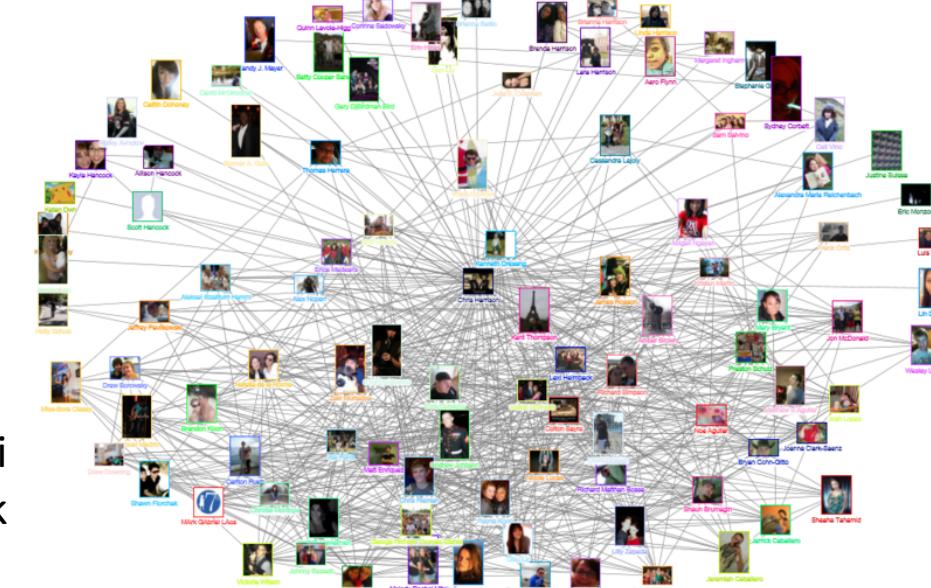


Il mondo è piccolo

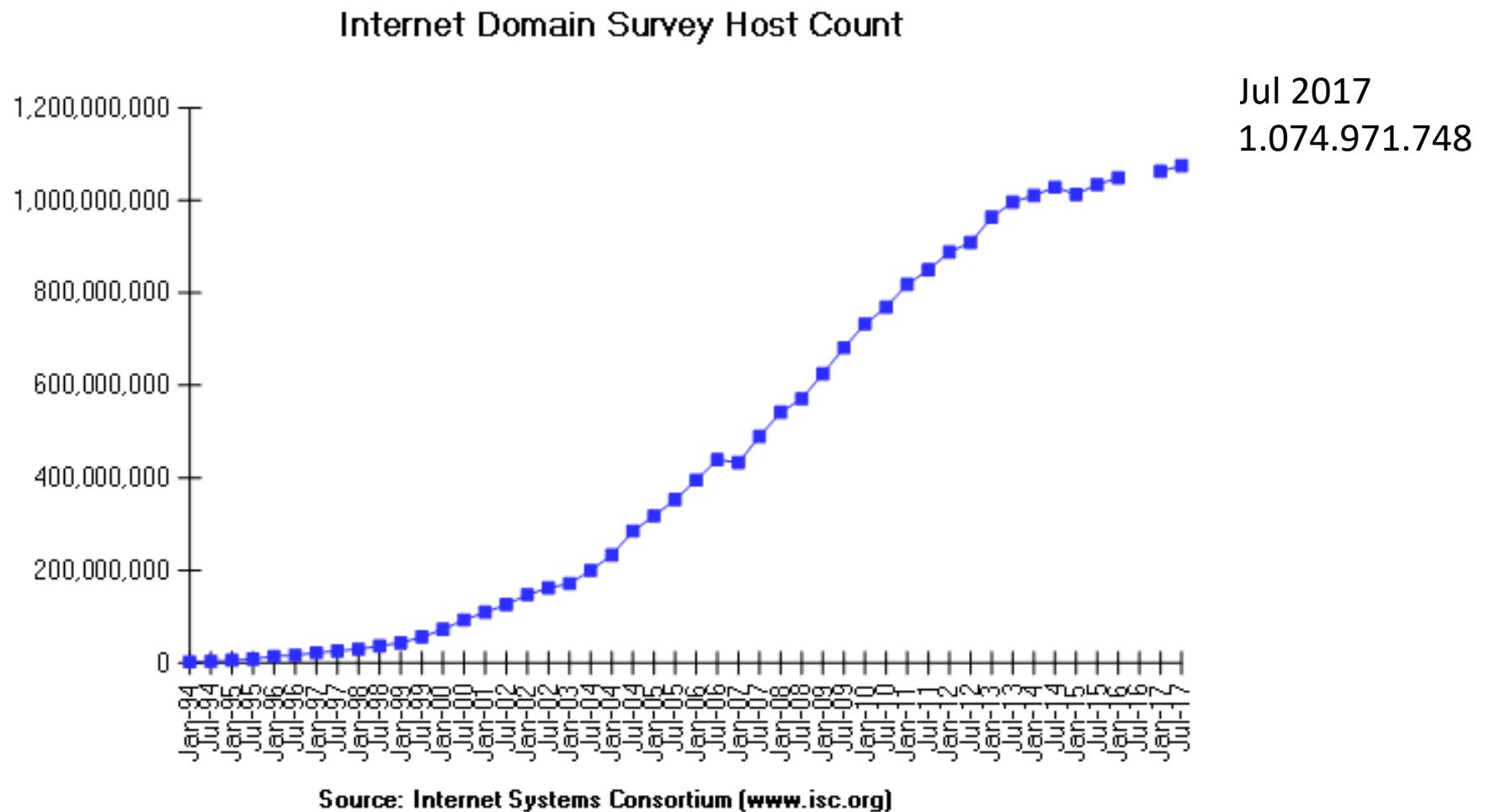
Mappa sottoreti IP (2008)



Esempio di topologia di social network



La crescita di internet



isc.org



POLITECNICO MILANO 1863

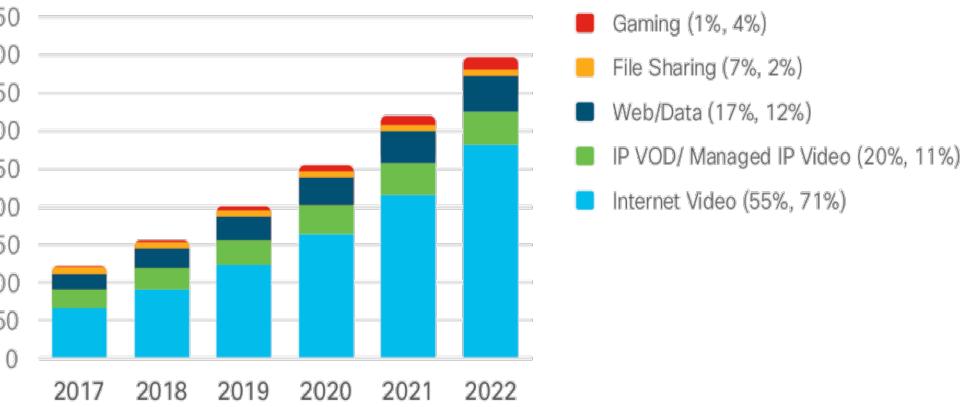
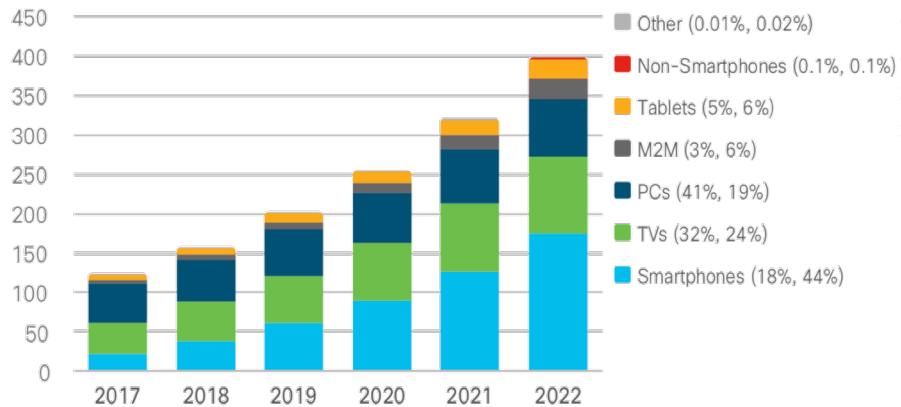
FCI - 1 - Introduzione

44

Il traffico di internet



Year	Global internet traffic
1992	100 GB per day
1997	100 GB per hour
2002	100 GB per second
2007	2,000 GB per second
2017	46,600 GB per second
2022	150,700 GB per second



CISCO VNI
(2018)



POLITECNICO MILANO 1863

FCI - 1 - Introduzione

Internet è nel CLOUD MARE



99% del traffico internazionale passa attraverso cavi sottomarini

telegeography.com



Internet è un campo di battaglia



KasperskyLab CyberThread Map - <https://cybermap.kaspersky.com>



POLITECNICO MILANO 1863

FCI - 1 - Introduzione

Programma del corso

PRIMA PARTE

1. INTRODUZIONE E ARCHITETTURE

- Principi generali, architettura e componenti, meccanismi di base

2. SISTEMI DI COMUNICAZIONE

- Come misuro le prestazioni di una rete: il concetto di *throughput*, i ritardi nelle reti di telecomunicazioni (tempo di trasmissione, ritardo di trasferimento, tempo di processing, tempo di accodamento).

3. MODELLI FUNZIONALI

- Come è gestita la comunicazione in rete: il concetto di protocollo di comunicazione, modelli architetturali a livelli, commutazione di pacchetto e commutazione di circuito

4. LIVELLO FISICO

- Concetto di segnale, conversione analogica/digitale, trasmissione, rumore, modulazione, canali trasmissivi, capacità.



Programma del corso

5. PROTOCOLLI APPLICATIVI

- architetture delle applicazioni di rete: approccio *client-server* ed approccio *peer-to-peer*;
- esempi di protocolli applicativi *client-server*: HTTP, FTP, SMTP;
- architetture *peer-to-peer*: la rete Gnutella, BitTorrent

6. IL LIVELLO DI TRASPORTO

- caratterizzazione del servizio di comunicazione tra processi applicativi; trasporto non affidabile: il protocollo UDP (formato dei segmenti);
- trasporto affidabile: il protocollo TCP (formato dei segmenti, apertura della connessione, controllo di flusso, controllo di congestione e controllo d'errore).



Programma del corso

SECONDA PARTE

7. IL LIVELLO DI NETWORKING:

- *I'Internet Protocol (IP)*: servizi offerti da IP, formato dei pacchetti IPv4
- Gestione di indirizzi IP: formati e notazioni degli indirizzi IPv4, le classi e gli indirizzi speciali, pianificazione di uno spazio di indirizzamento IPv4, tecniche di *subnetting* e *supernetting*, assegnamento automatico di indirizzi IP: il Dynamic Host Control Protocol (DHCP)
- Corrispondenza tra indirizzi IP ed indirizzi simbolici (*Il Domain Name System*);
- *I'Internet Control Message Protocol (ICMP)*



Programma del corso

8. INOLTRO ED INSTRADAMENTO IN INTERNET:

- inoltro diretto ed indiretto
- uso delle tabelle di *routing*;
- instradamento su cammini minimi, la costruzione dell'albero dei cammini minimi,
- Instradamento link state ed instradamento distance vector
- Esempi di protocolli: RIP, OSPF, BGP.
- Indirizzamento privato e traduzioni di indirizzi IP (NAT, NAPT)
- Interconnessione di reti private (*IP Tunneling*)



Programma del corso

9. RETI LOCALI E LIVELLO DI LINEA:

- problema dell'accesso multiplo,
- indirizzamento nelle reti locali,
- l'*Address Resolution Protocol* (ARP),
- interconnessione di reti locali con bridge/switch,
- lo standard Ethernet/802.3: principi e funzionamento,
- lo standard IEEE 802.11 (WiFi): principi e funzionamento.



Programma del corso

LABORATORIO:

- Attività di base svolta a lezione ed esercitazione:
 - Sniffer di rete (Wireshark)
 - Ping (PingPlotter), Traceroute, Dig, Strumenti del browser (chrome)
 - Protocolli applicativi (con utilizzo di server e client email e web)
- Attività di laboratorio
 - **Lab 1: Python e scripting per analisi di rete**
 - **Lab 2: Programmazione socket in Python, parte I**
 - **Lab 3: Programmazione socket in Python, parte II**
 - Lab 4: Configurazione e simulazione di rete (Packet Tracer), parte I
 - Lab 5: Configurazione e simulazione di rete (Packet Tracer), parte II
 - Lab 6: Attività sperimentali su reti wireless

*Didattica innovativa
(flipped classroom)*



Programma CISCO Networking Academy

- Il Politecnico offre agli studenti la possibilità di seguire online e gratuitamente i corsi di formazione per la certificazione CISCO CCNA
- Il programma CISCO NA è uno strumento aggiuntivo e facoltativo offerto per integrare la preparazione e acquisire competenze anche di tipo implementativo che non vengono normalmente fornite nei corsi
- Il programma CCNA si articola in 4 moduli/semestri
 - CCNA 1, CCNA 2, CCNA 3, CCNA 4



Come si segue il programma CCNA ?

- Il programma CCNA si segue mediante un piattaforma di E-learning
- Ogni studente studia autonomamente usando la piattaforma
- I docenti dei corsi di reti e il responsabile del programma CISCO (Prof. Antonio Capone) sono a disposizione per chiarimenti durante l'orario di ricevimento
- Seguire il programma CCNA richiede dell'impegno aggiuntivo rispetto al normale impegno per i corsi universitari
- A fronte di questo impegno si riceve una preparazione complementare a quella universitaria molto apprezzata nel mercato del lavoro



Piattaforma di E-Learning

- **Esempi della piattaforma:**
 - Portale d'ingresso: NetSpace

The screenshot shows the Cisco Networking Academy NetSpace portal. At the top, there's a navigation bar with links for "Welcome, Antonio Capone, Sign Out | Help | Search" and the Cisco logo. To the right, it says "Mind Wide Open". Below the navigation bar is a main menu with "NetSpace Home", "About Us", "Program", "Offerings", and "Communities". On the far right of the menu are icons for email and user profile.

In the center, there's a section titled "Scheduled Site Maintenance" with a "Show" button. Below this, there are three main content areas:

- Learn Tab:** This tab is highlighted in green. It features a photo of a smiling person at a computer, the text "Access the Courses You Are Taking", and a note: "When you are enrolled in courses you will be able to access them from this tab."
- My Tasks:** A grey box containing the text: "Your classroom related tasks will display here."
- Security in the Cloud Webinar:** A box with a thumbnail image, the title "Security in the Cloud Webinar", a description: "Learn about the security risks and threats in cloud, and other topics such as Identity and Access Management & data security", a "Register Here" button, and another thumbnail image.
- Self-Enroll Made Easy:** A box with a thumbnail image, the title "Self-Enroll Made Easy", a description: "Explore the revamped Course Catalog & Self-Paced Courses, under Offerings menu, choose \"Enroll Now\" and start learning.", a "More Details" link, and another thumbnail image.



Piattaforma di E-Learning

- **Esempi della piattaforma:**
 - Esempio (1)

NOTA: il materiale è in inglese

The screenshot shows the 'Routing and Switching Essentials' course structure. On the left, a vertical navigation bar lists chapters from Chapter 0 to Chapter 6. To the right, a detailed view of Chapter 1.1.1 is shown, including sub-sections and associated images. The background features a vibrant, abstract coral reef design.

Course Structure:

- Chapter 0: Course Introduction
- Chapter 1: Introduction to Switched Networks
- Chapter 2: Basic Switching Concepts and Configuration
- Chapter 3: VLANs
- Chapter 4: Routing Concepts
- Chapter 5: Inter-VLAN Routing
- Chapter 6: Static Routing

Chapter 1.1.1: Converged Networks

- Section 1.1.1.1: Growing Complexity of Networks (Image: people at a table with a laptop)
- Section 1.1.1.2: Elements of a Converged Network (Diagram: funnel showing traffic types)
- Section 1.1.1.3: Cisco Borderless Networks (Diagram: network architecture)

Navigation and Help:

- Recent Pages
- Bookmarks
- Course Index
- Search
- Select Background
- Help
- Return to Class



Come si fanno gli esami CCNA ?

- Gli esami si fanno sempre mediante un piattaforma di E-learning
- Gli esami consistono in quiz e attività interattive
- Ogni semestre prevede un esame finale
- Il giorno dell'esame lo studente ha tempo dalle 9 alle 17 per completare i quiz
- Normalmente alla fine di ogni semestre sono fissate 4-5 date per l'esame
- Ogni “assessment” ha un tempo massimo dopo l’attivazione
- Copiare o barare agli esami non conviene, conta solo quello che si impara



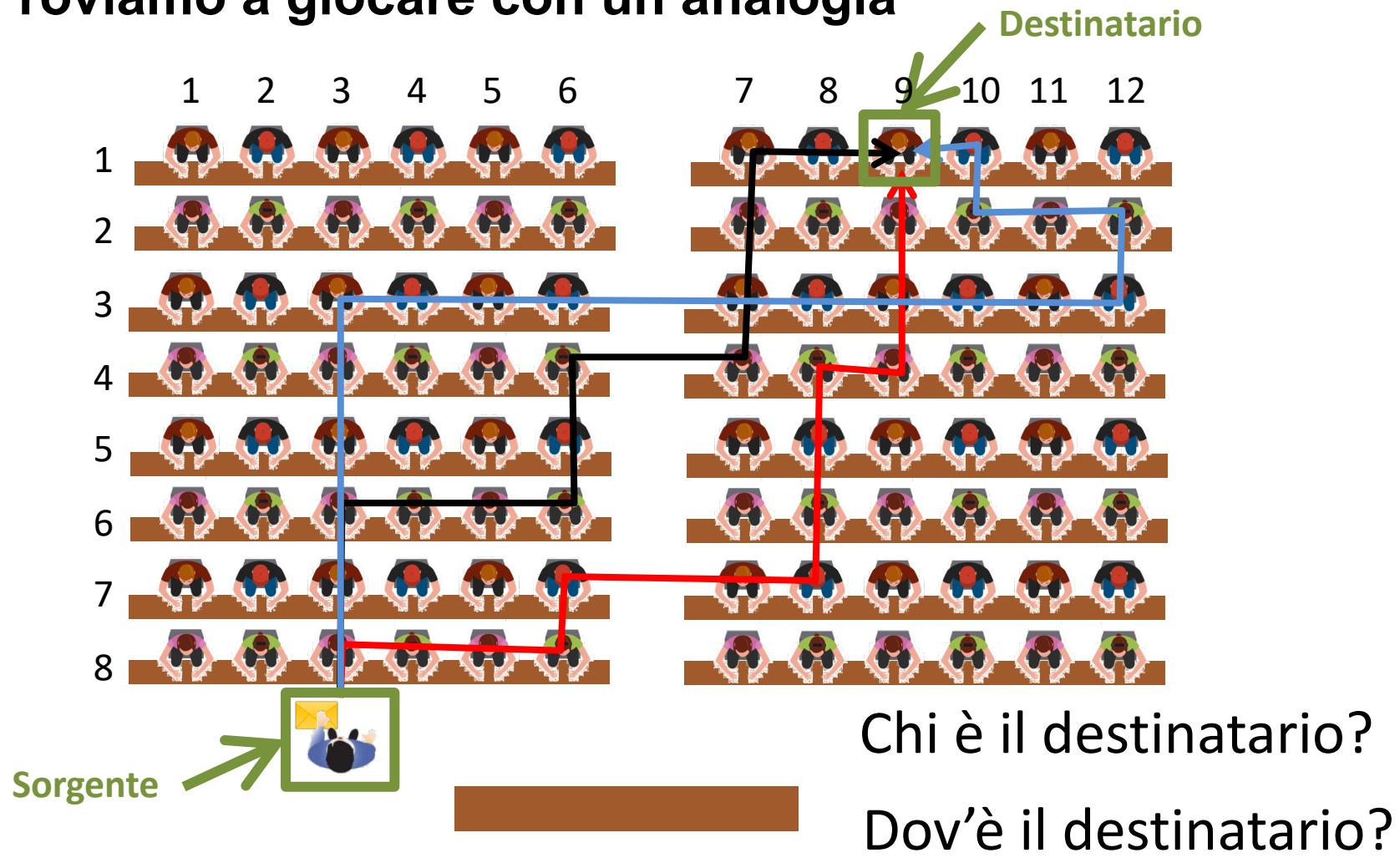
Come ci si iscrive al CCNA?

- ▶ Per iscrizioni e maggiori informazioni consultare la pagina del POLIMI:
<http://home.deib.polimi.it/capone>
 - > teaching
 - > CISCO NA
- ▶ ISCRIZIONI:
 - ▶ 2 semestre (mar-apr)
 - ▶ Dopo l'iscrizione (siate pazienti viene fatta a mano) riceverete un email con login e password
 - ▶ Usateli per effettuare il primo accesso al portale
 - ▶ Dopo il primo accesso cambiate login (preferibilmente in nome.cognome) e password e inserite tutte le informazioni personali



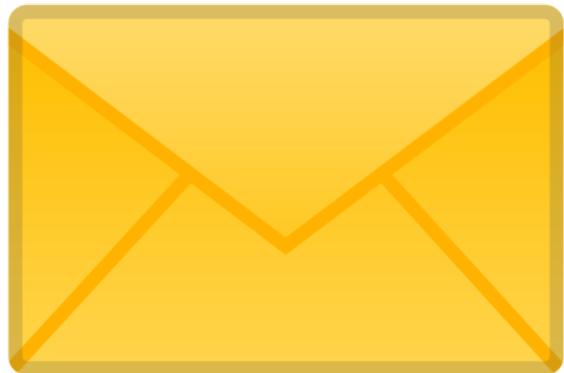
Quanto ne sapete di Internet

- Proviamo a giocare con un'analogia



Quanto ne sapete di Internet

- Proviamo a giocare con un'analogia



Cosa scrivo sulla busta?

Nome Cognome
Indirizzo

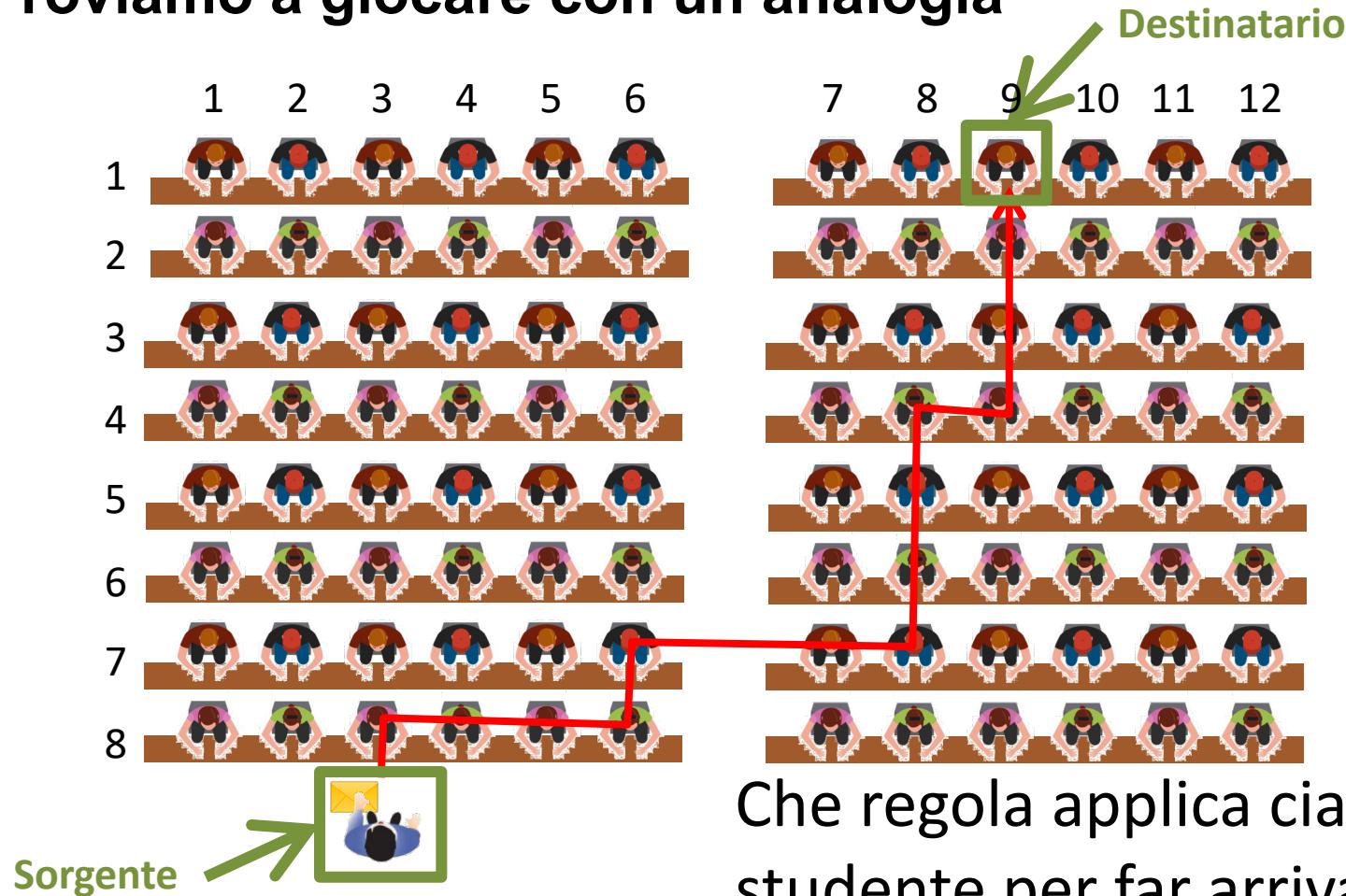
Cosa faccio a sapere l'indirizzo
se so Nome e Cognome?

Mi serve un indirizzario



Quanto ne sapete di Internet

- Proviamo a giocare con un'analogia

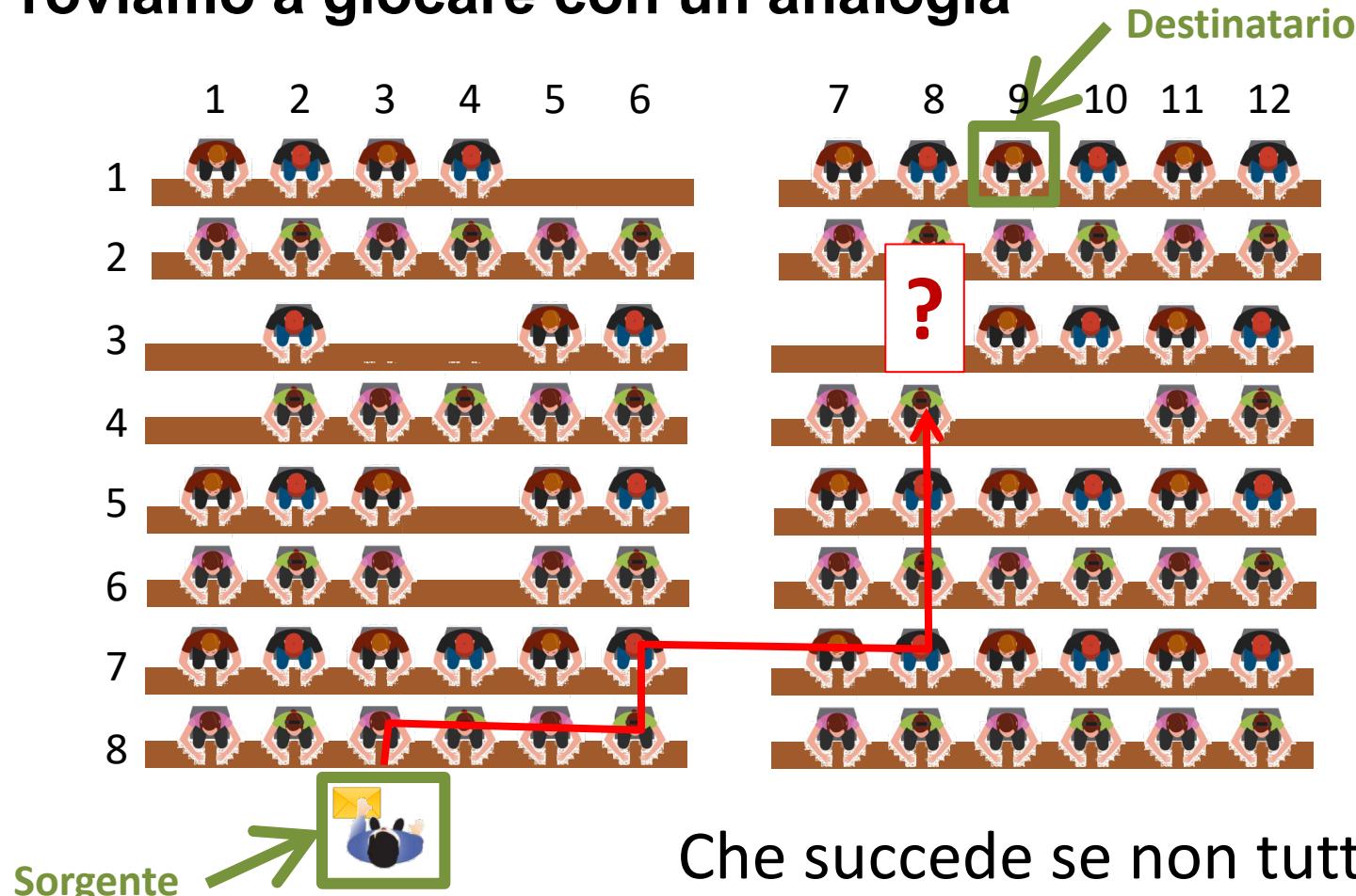


Che regola applica ciascuno
studente per far arrivare la
busta a destinazione?



Quanto ne sapete di Internet

- Proviamo a giocare con un'analogia



Che succede se non tutti i posti sono occupati?

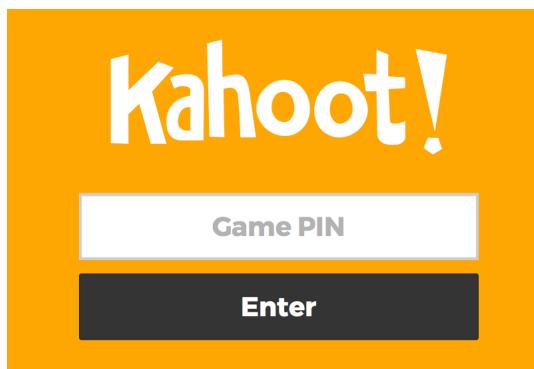


Quanto ne sapete di Internet

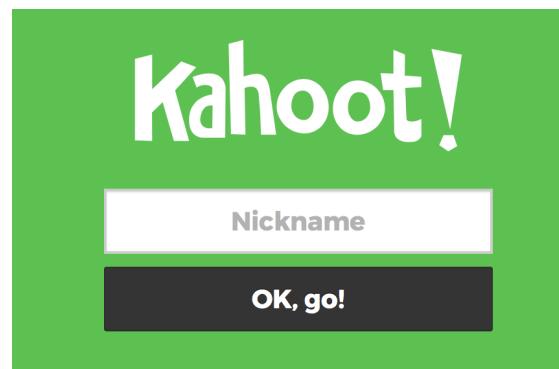
- **Test d'ingresso: (no punti premio)**
 - Quiz gara
 - Usate il vostro smartphone/tablet/PC collegato a Internet
 - Collegativi con il browser a:

kahoot.it

Inserite il PIN che vi
darò tra un attimo



Inserite come nickname
Cognome_Nome





1c – Concetti base

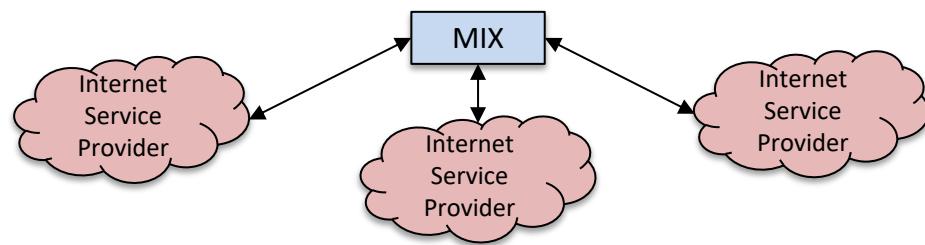
**Cos'è Internet, Architettura e
componenti, Meccanismi base**

Cos'è Internet?

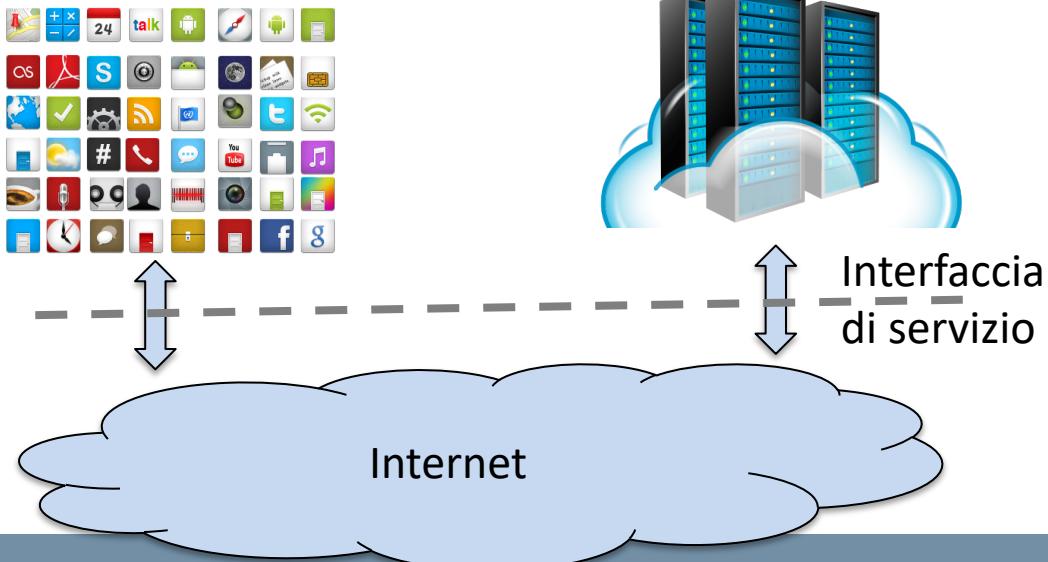
1) Una **infrastruttura fisica** fatta di componenti



2) Un'architettura di rete



3) Un **servizio di comunicazione** usato dalle applicazioni e i **protocolli di comunicazione** tra le componenti del sistema



Cos'è Internet?

Componenti fisiche

- Milioni di computer connessi alla rete chiamati **host = terminali**
- Canali di comunicazione di diversi tipi (fibra, cavo, radio, satellite, ...) **link = collegamenti**
- Nodi di rete chiamati **router = nodi**
- Altri nodi di rete locali (switch, access point, modem, ...)



router



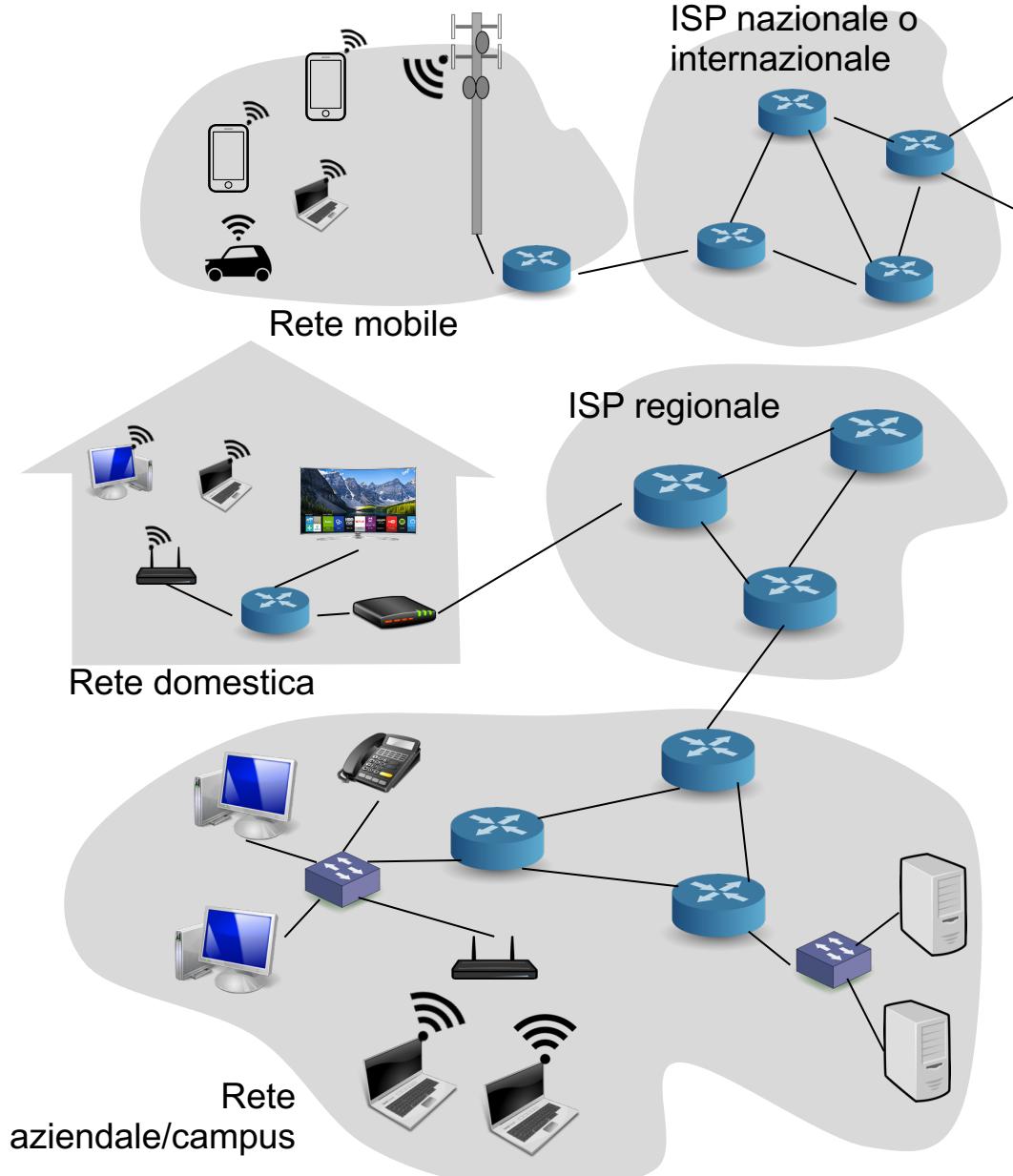
desktop



server

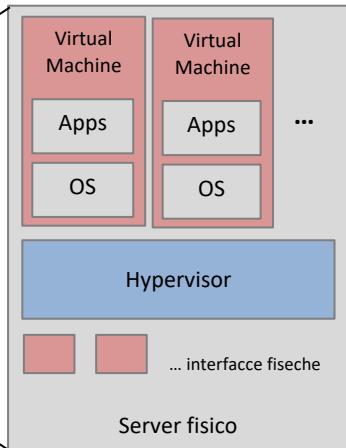


laptop



Componenti fisiche: host (terminali)

- Tutti gli **host** per la rete sono sistemi in grado di **inviare e ricevere informazioni** per le loro applicazioni finali
- Ma in realtà hanno caratteristiche molto diverse



Server fisici e virtuali per data center di servizi cloud



Dispositivi personali



Oggetti intelligenti



Componenti fisiche: link (collegamenti)

- I collegamenti possono essere di natura fisica molto diversa (fibra ottica, cavi coassiali, doppini, radio, ecc.)
- Differiscono anche per tecnologia di trasmissione dell'informazione
- E ovviamente per la velocità di trasmissione (rate) misurato in bit al secondo (b/s, Kb/s, Mb/s, Gb/s, Tb/s)

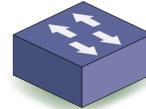


Componenti fisiche: nodi di rete

- I nodi di rete di internet sono i **router** che operano su unità di informazione (sequenze di bit) finite dette pacchetti
- Esistono altri nodi di rete che a livello locale svolgono altre funzioni di collegamento
- Vedremo che il “livello” a cui opera un nodo di rete è un aspetto importante della tecnologia



router



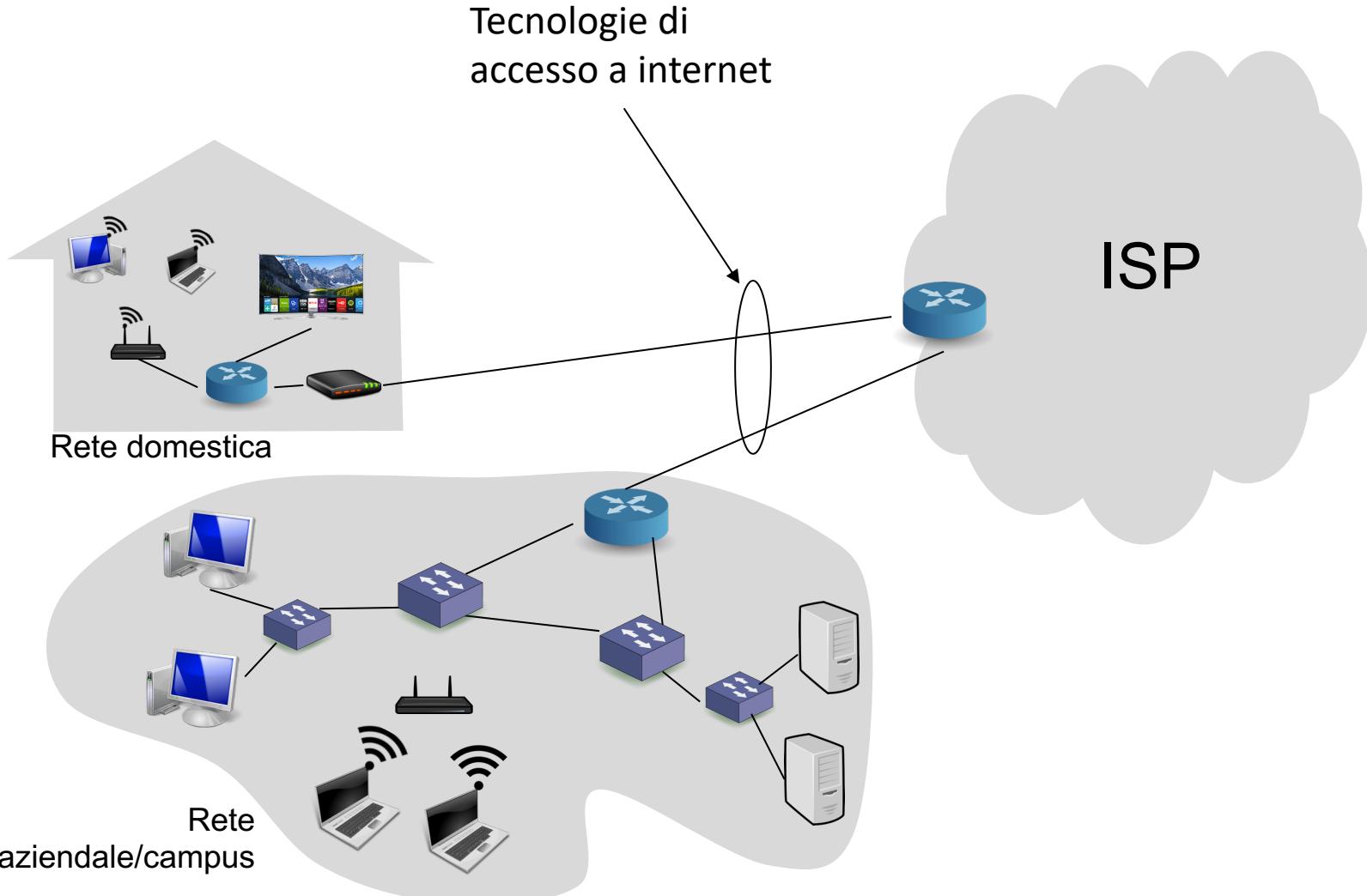
switch



access point

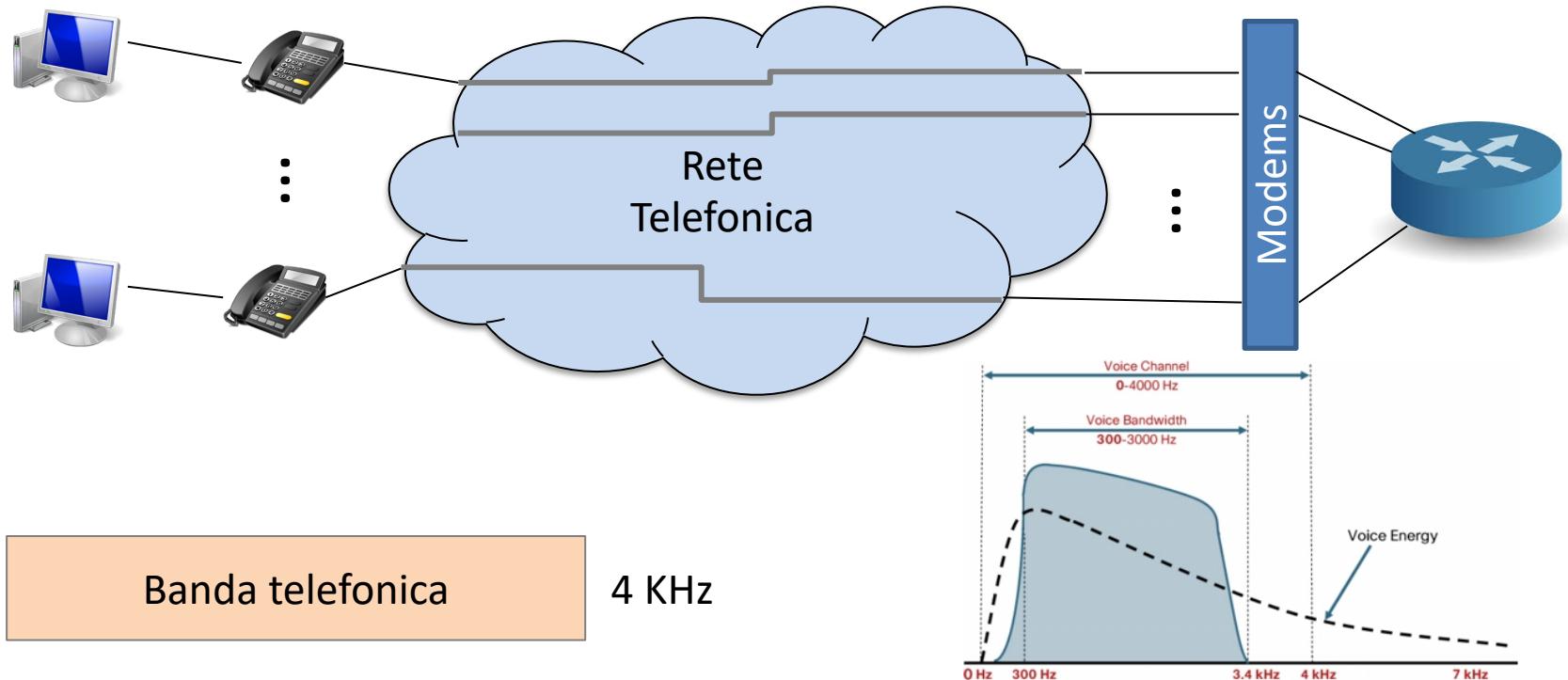


Architettura fisica: Accesso a Internet



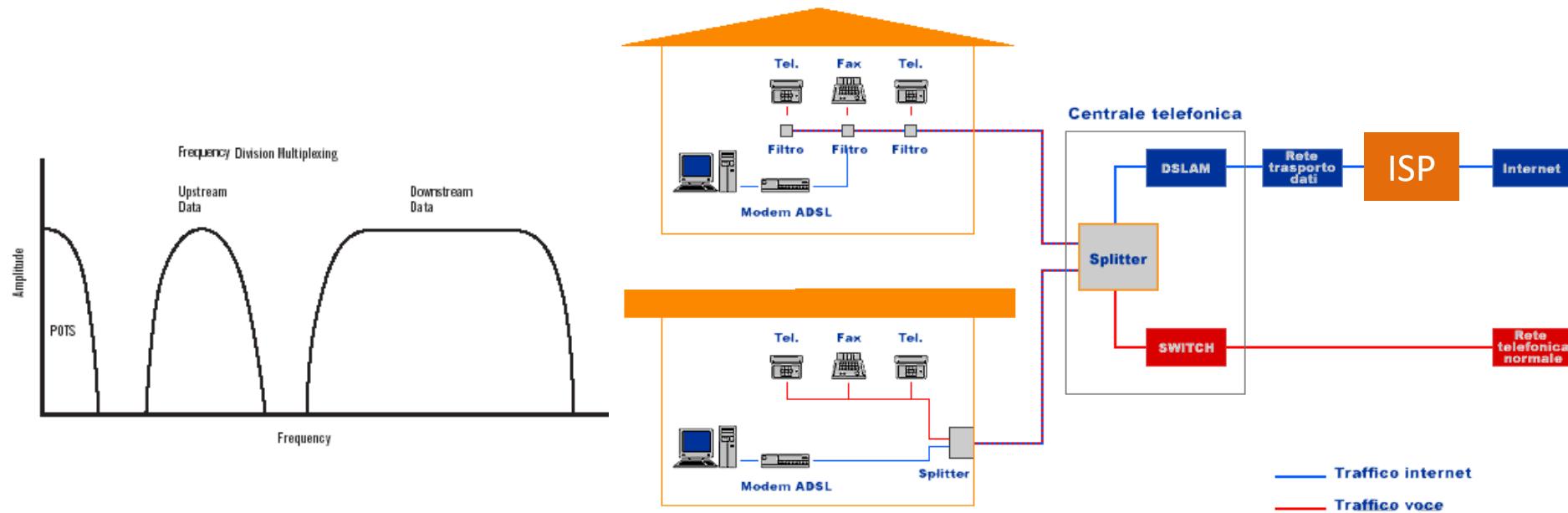
Accesso a Internet: Dialup

- **Dialup via modem**
 - Fino a 56Kbps
 - Accesso diretto al router del ISP mediante circuito telefonico
 - Trasmissione del segnale in banda fonica



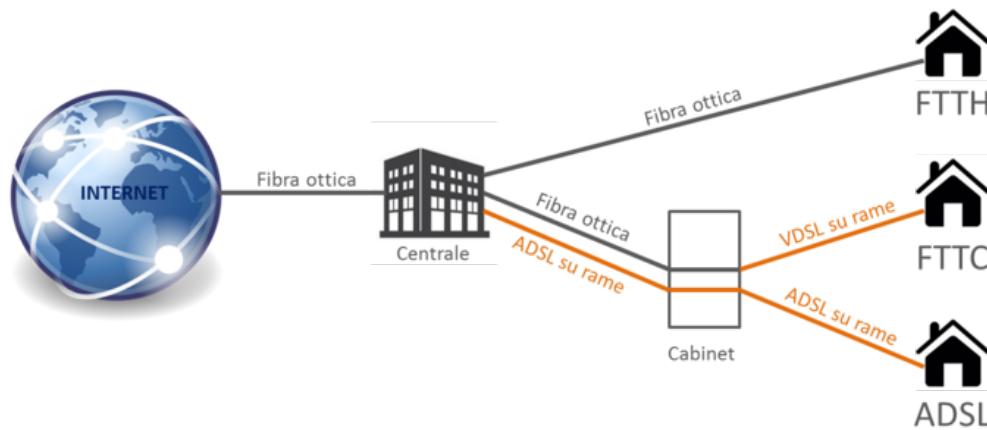
Accesso a Internet: ADSL

- **ADSL: asymmetric digital subscriber line**
 - Fino a 1 Mbps upstream, Fino a 20 Mbps downstream
 - Condivisione del doppino con la rete telefonica fino alla centrale (divisione di frequenza)
 - Accesso al router del provider mediante rete dati ad alta velocità



Accesso a Internet: Fibra

- **Rete d'accesso di nuova generazione ad alta velocità**
 - Sostituzione parziale o totale del doppino telefonico con fibra ottica

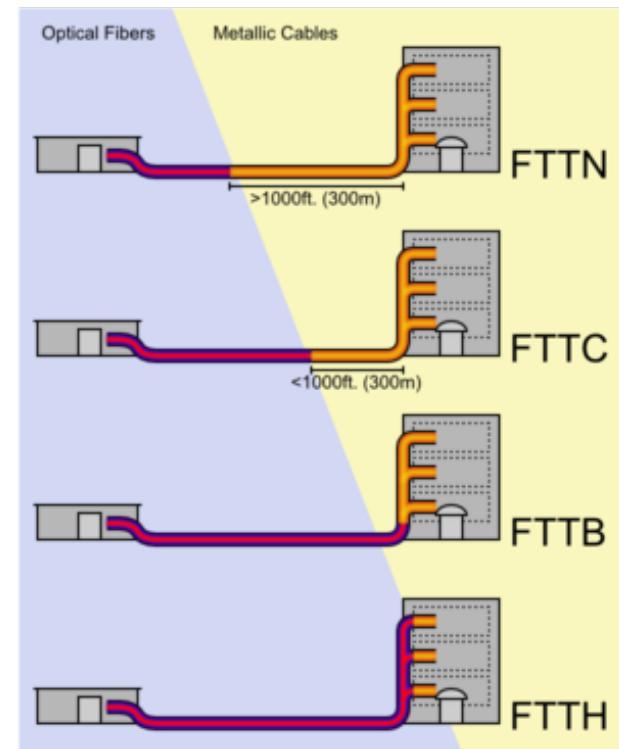


FTTH - Fiber To The Home

FTTB - Fiber To The Basement

FTTC - Fiber To The Curb

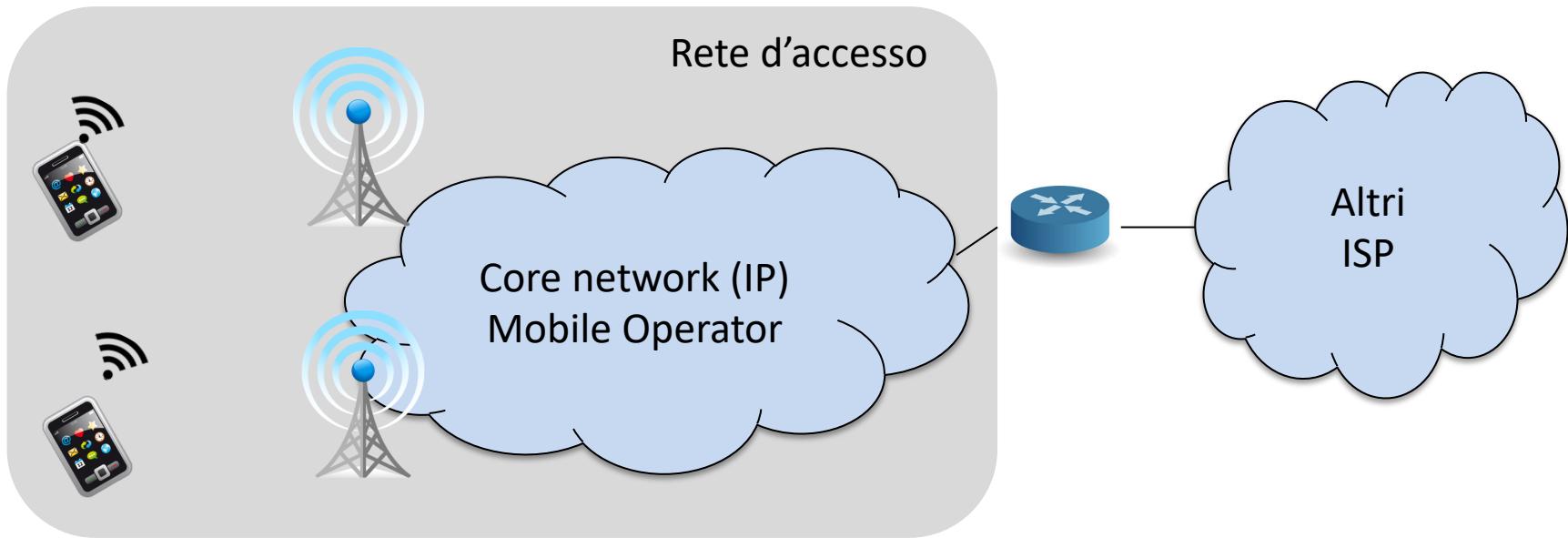
FTTN - Fiber To The Neighborhood



Accesso a Internet: Rete cellulare

- **Reti cellulari**

- GPRS/EDGE ~ 200 kbps
- HSPA ~ 14,5(down)/5,7(up) Mbps
- LTE ~ 300(down)/85(up) Mbps



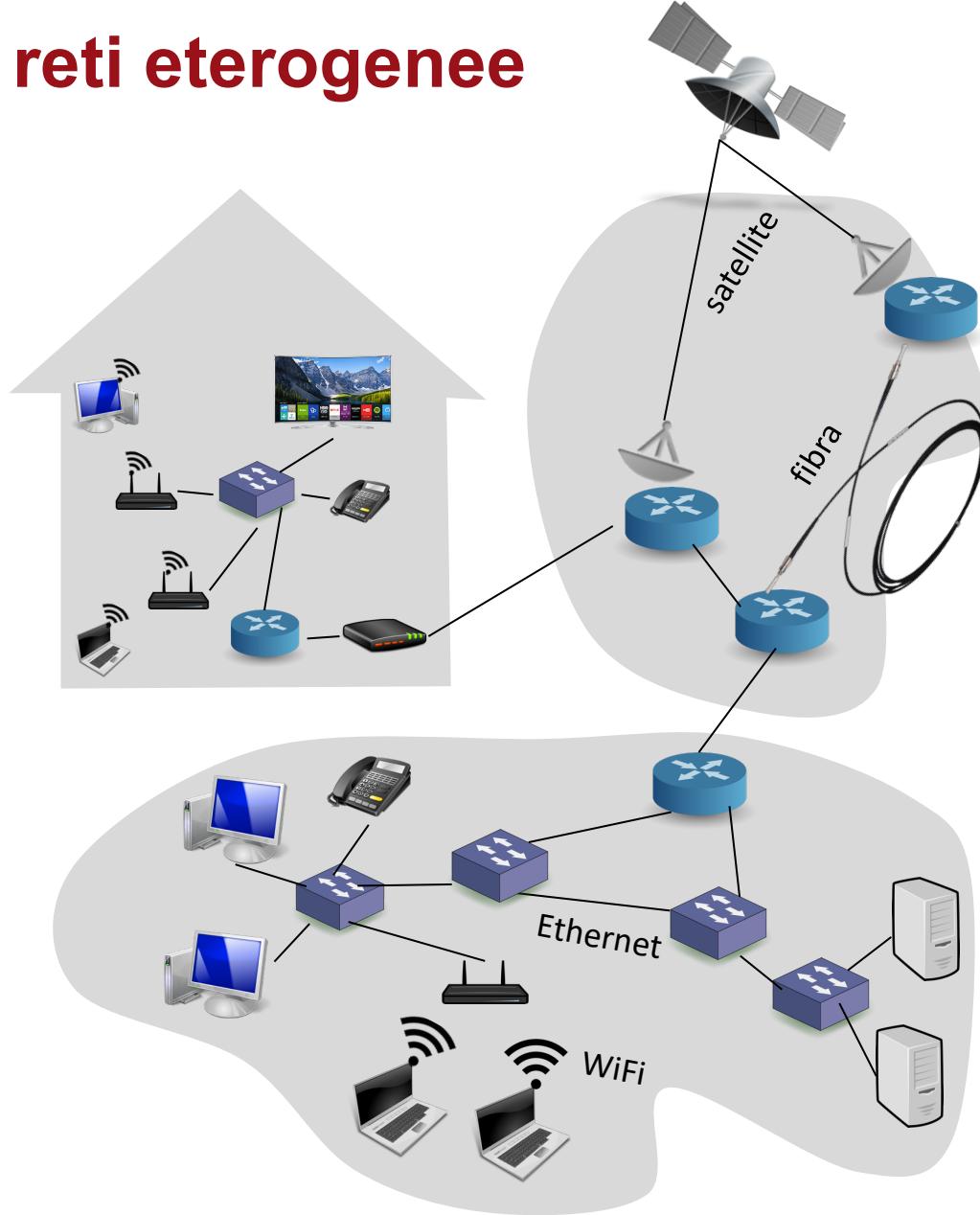
Reti di reti

- Nella descrizione di cosa sia Internet da punto di vista fisico e di servizio abbiamo trascurato una aspetto architettonale fondamentale: **Internet in realtà è un puzzle di tante reti interconnesse**
- **Questo ha due risvolti importanti:**
 - 1) La tecnologia di Internet (IP - Internet Protocol) può essere usata per interconnettere sotto-reti di tipo eterogeno
 - 2) L'intera rete Internet mondiale è composta da tante reti gestite da operatori indipendenti (ISP – Internet Service Provider) che si accordano per collegarle insieme



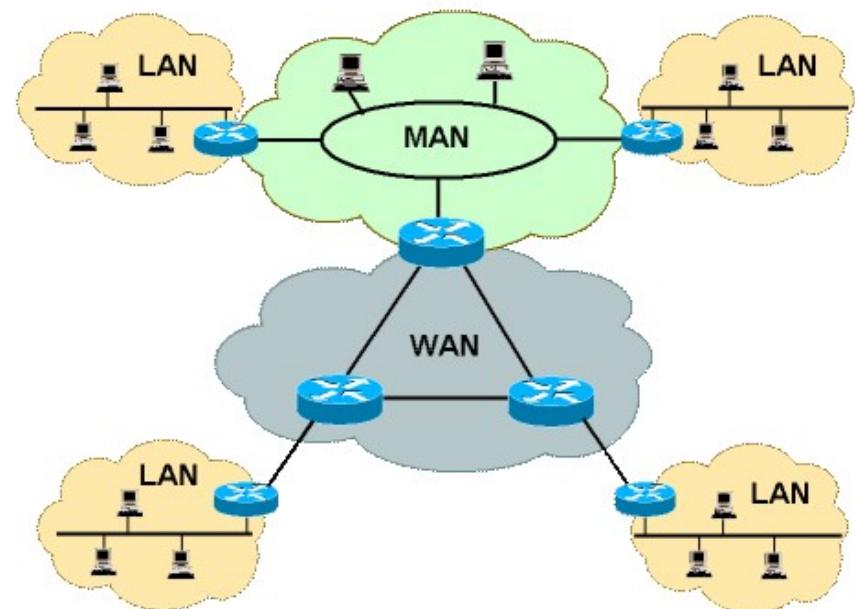
Reti di reti: Insieme di reti eterogenee

- Le diverse porzioni di rete sono composte da **tecnicologie diverse**
- I router possono essere interconnessi da **link di vario tipo**
- Ma anche da “**sotto-reti**” che gestiscono internamente propri nodi e link
- Esempio: reti locali Ethernet e/o WiFi

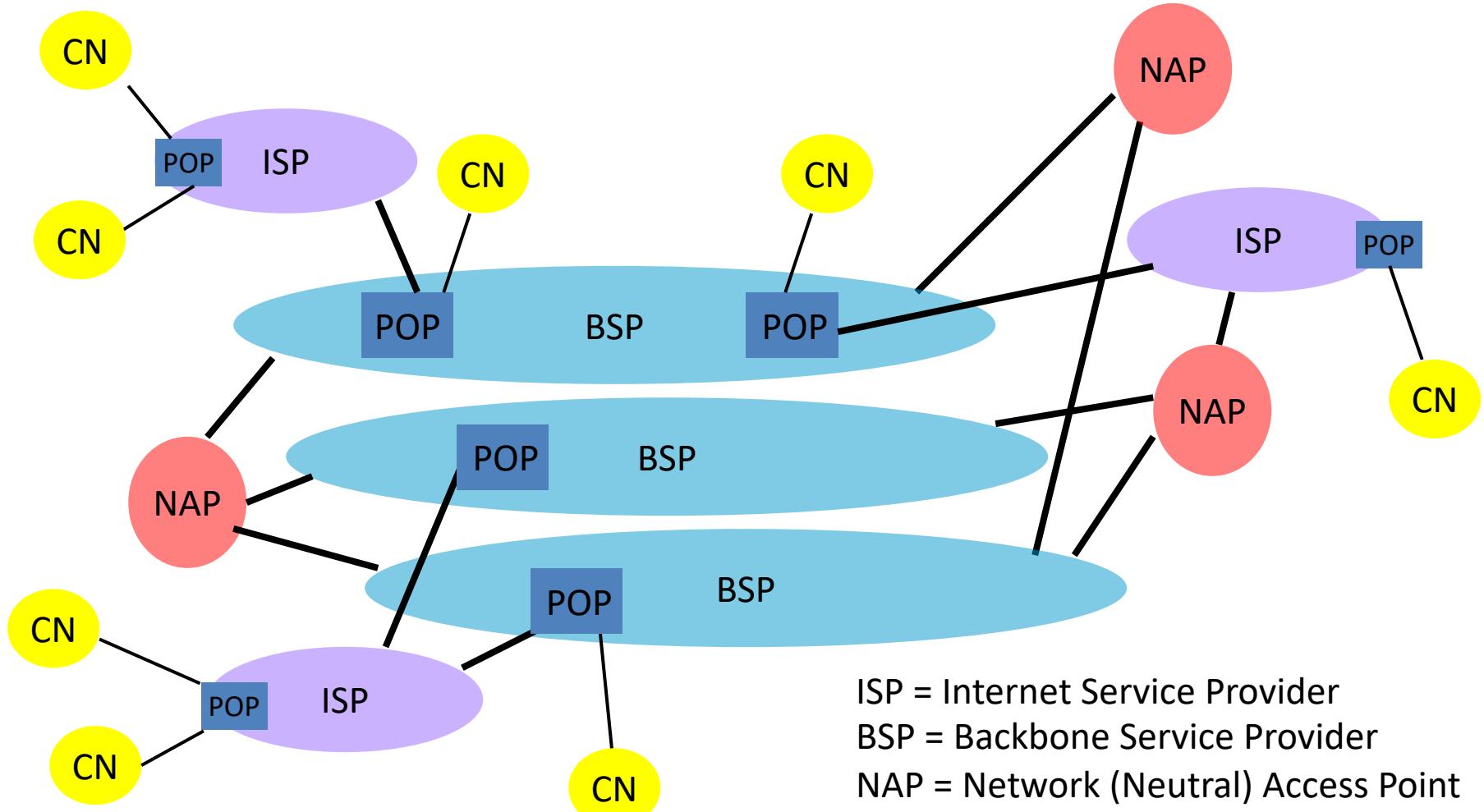


Rete di reti: insieme di reti eterogenee

- Così come Ethernet e WiFi, si possono usare tipi di reti diversi non solo in ambito locale
- **Tipi di rete in base all'estensione geografica:**
 - **LAN:** Local Area Network
 - Impiegate in aree limitate (tipicamente edifici, campus)
 - **MAN:** Metropolitan Area Network
 - Coprono estensioni fino ad alcune decine di km
 - **WAN:** Wide Area Network
 - Hanno copertura ampia a piacere



Rete di reti: architettura di interconnessione



ISP = Internet Service Provider

BSP = Backbone Service Provider

NAP = Network (Neutral) Access Point

POP = Point of Presence

CN = Customer Network



Reti di reti: Internet Exchange Map



TeleGeography Internet Exchange Map

The Internet Exchange Map is a free resource from [TeleGeography](#). Data contained in this map was compiled by TeleGeography and is updated on a regular basis.

To learn more about [TeleGeography](#) or this map, please visit www.telegeography.com.



Sponsored by Datamena

Feedback

Search

Internet Exchanges

- 6NGIX (Seoul, Korea, Rep.)
- AAIX (Klagenfurt, Austria)
- ADN-IX (Valence, France)
- AIXP (Arusha, Tanzania)
- AIXP (Port-au-Prince, Haiti)
- ALB-IX (Tirane, Albania)
- AMPATH (Miami, United States)
- AMS-IX (Amsterdam, Netherlands)
- AMS-IX Bay Area (San Francisco, United States)
- AMS-IX Caribbean (Willemstad, Netherlands Antilles)

All content © 2015 PriMetrica, Inc.

telegeography.com



POLITECNICO MILANO 1863

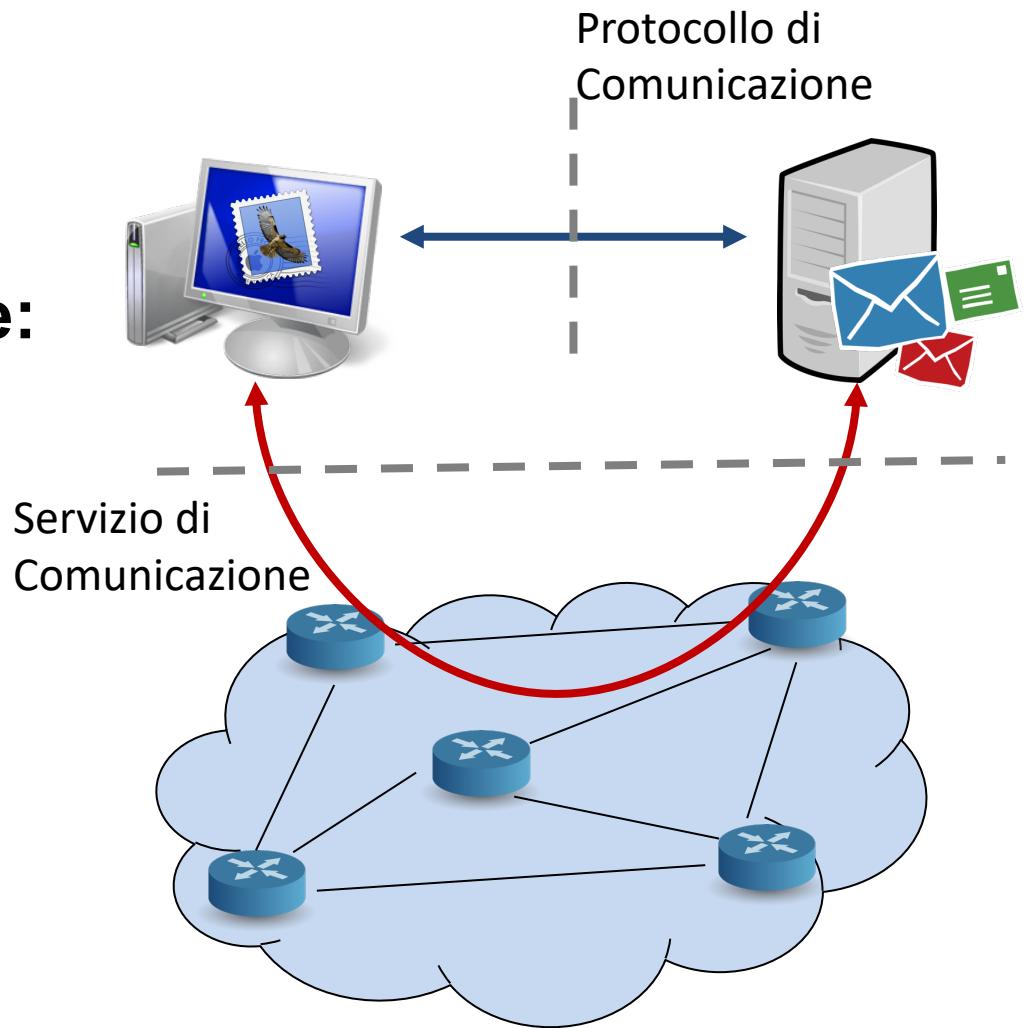
FCI - 1 - Introduzione

80

Cos'è Internet?

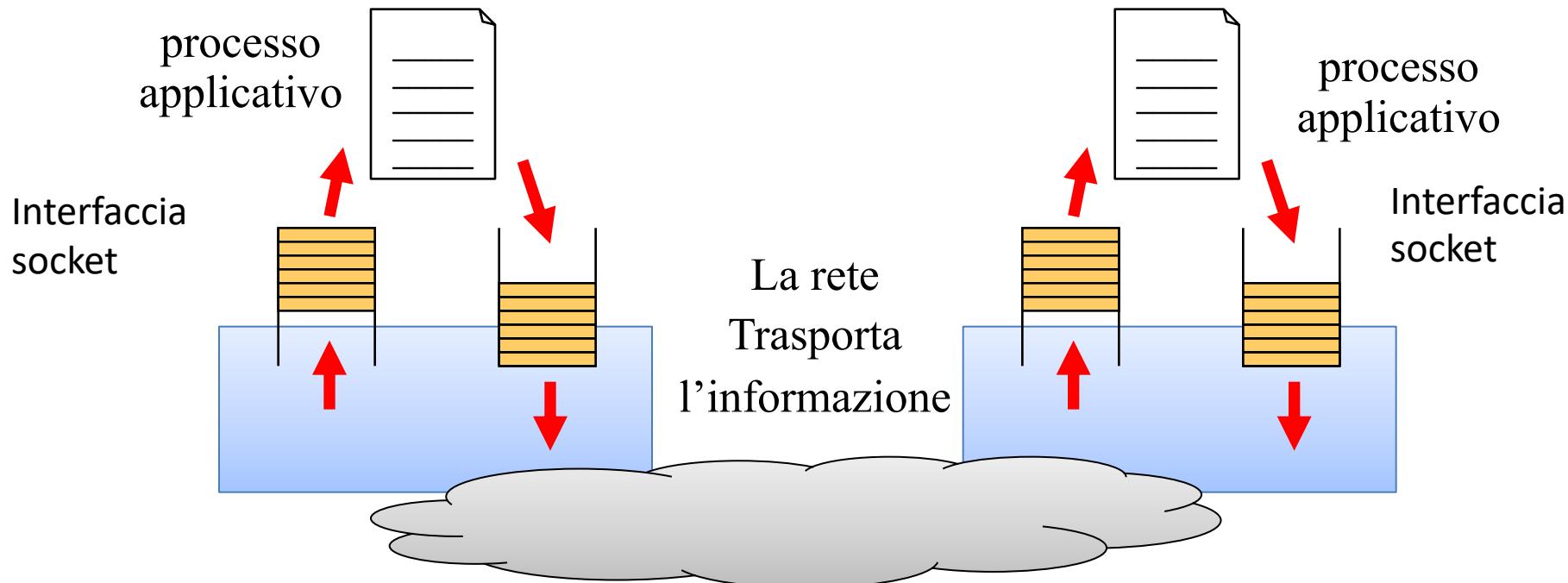
Il servizio e i protocolli di comunicazione

- **Infrastruttura di comunicazione consente le applicazioni distribuite:**
 - Web, email, games, e-commerce, file sharing
- **Protocolli di comunicazione per inviare e ricevere messaggi**



Servizio di Comunicazione

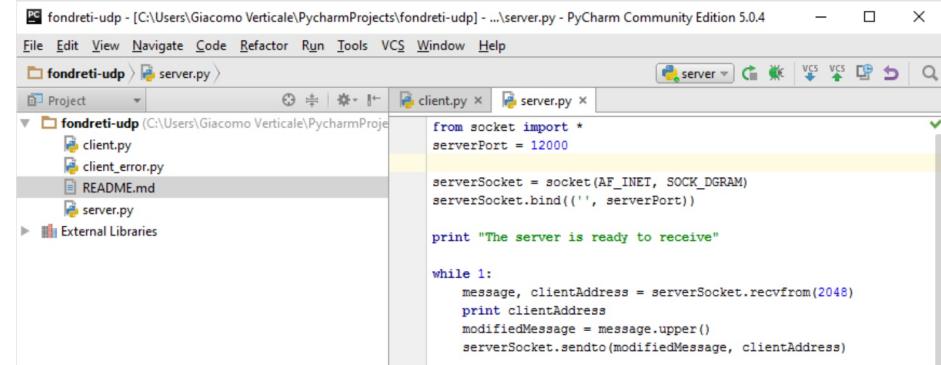
- La rete fornisce un *servizio di comunicazione* alle applicazioni per il *trasporto* delle informazioni tra i processi remoti
- Il servizio di trasporto offerto dalla rete alle applicazioni può essere di vari tipi



Servizio di Comunicazione

- Possono essere trasportati brevi messaggi in modo non affidabile (esempi: DNS, segnalazione, ecc.)
- Possono essere trasportate sequenze anche lunghe di byte in modo affidabile (web, email, file transfer, ecc.)

Laboratorio: Socket programming
Vedrete in laboratorio come usare Python per accedere all'interfaccia software sia lato client che lato server per trasporto affidabile e non



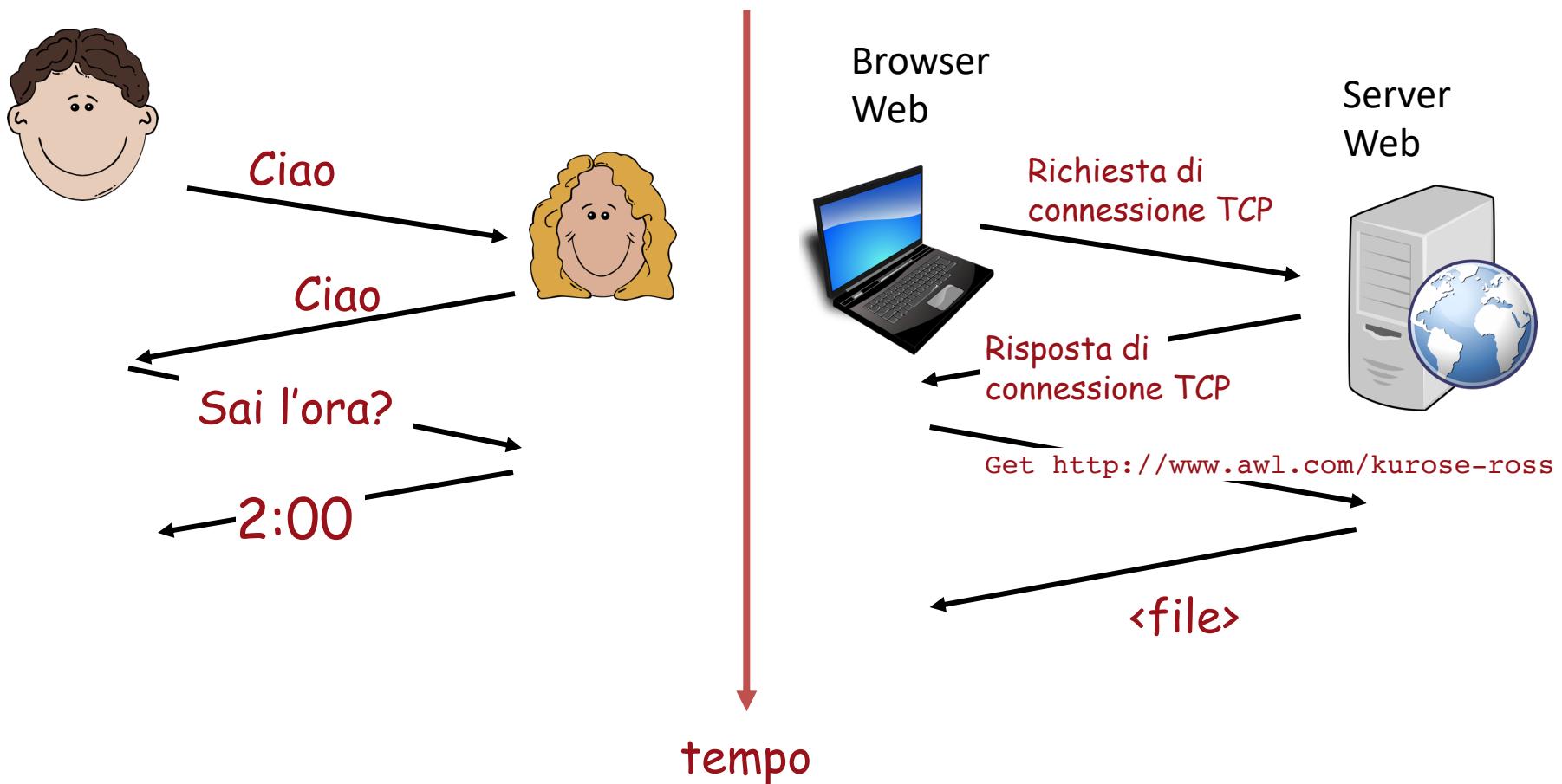
The screenshot shows the PyCharm Community Edition 5.0.4 interface. The project navigation bar indicates the current file is 'server.py'. The code editor displays the following Python script:

```
from socket import *
serverPort = 12000
serverSocket = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM)
serverSocket.bind(('', serverPort))
print "The server is ready to receive"
while 1:
    message, clientAddress = serverSocket.recvfrom(2048)
    print clientAddress
    modifiedMessage = message.upper()
    serverSocket.sendto(modifiedMessage, clientAddress)
```



Protocolli di comunicazione

Protocollo umano e protocollo di rete



Protocolli di comunicazione: Esempio posta elettronica

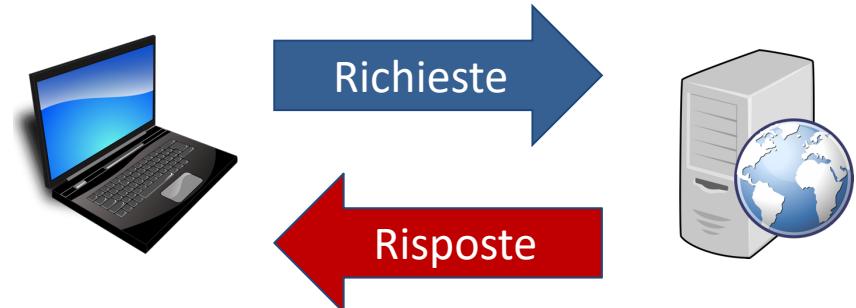
```
S: 220 hamburger.edu
C: HELO crepes.fr
S: 250 Hello crepes.fr, pleased to meet you
C: MAIL FROM: <alice@crepes.fr>
S: 250 alice@crepes.fr... Sender ok
C: RCPT TO: <bob@hamburger.edu>
S: 250 bob@hamburger.edu ... Recipient ok
C: DATA
S: 354 Enter mail, end with "." on a line by itself
C: Do you like ketchup?
C: How about pickles?
C: .
S: 250 Message accepted for delivery
C: QUIT
S: 221 hamburger.edu closing connection
```



Protocolli di comunicazione: modelli

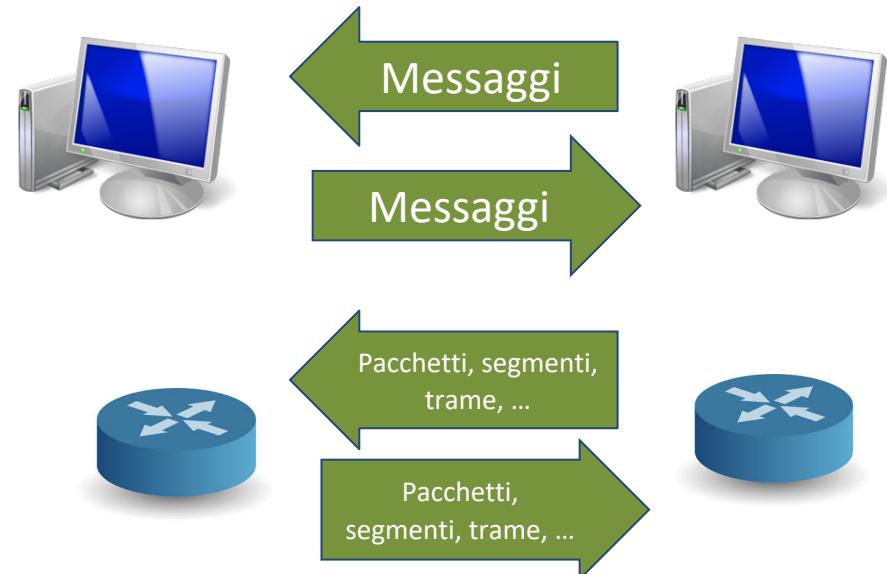
- **Modello client/server**

- client chiedono il servizio, i server lo forniscono
- I client fanno domande, i server rispondono



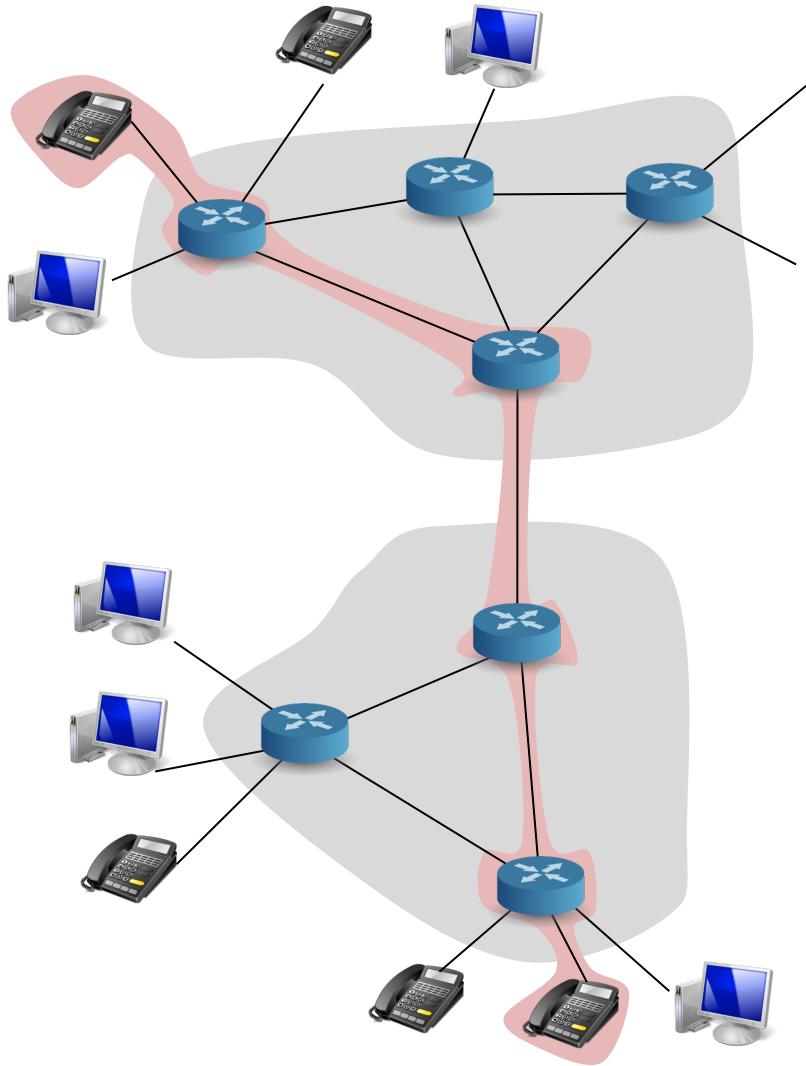
- **Modello peer-to-peer:**

- Tutti i terminali collaborano senza distinzione di ruoli (o quasi)



Come funziona Internet?

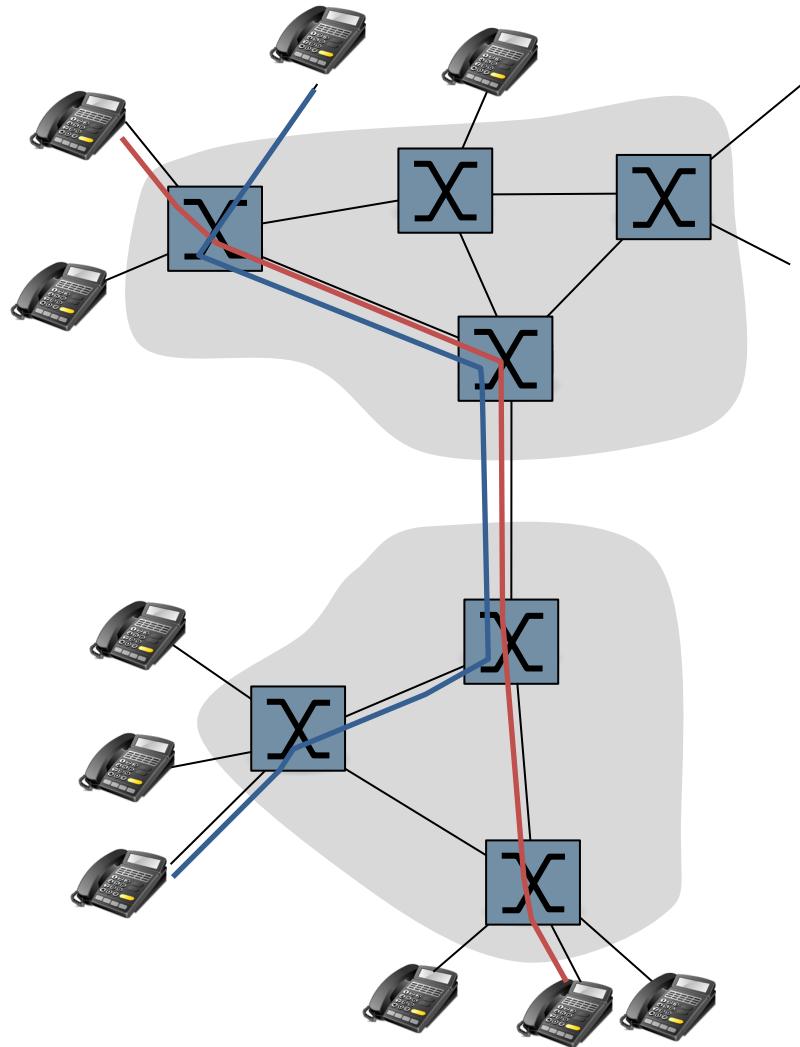
- E' la domanda che ci occuperà l'intero corso
- Ma partiamo dal meccanismo di base
- **Come può essere trasferita l'informazione in rete?**
 - Comutazione di circuito: circuito dedicato per chiamata
 - Comutazione di pacchetto: dati inviati in rete con messaggi



Commutazione di circuito

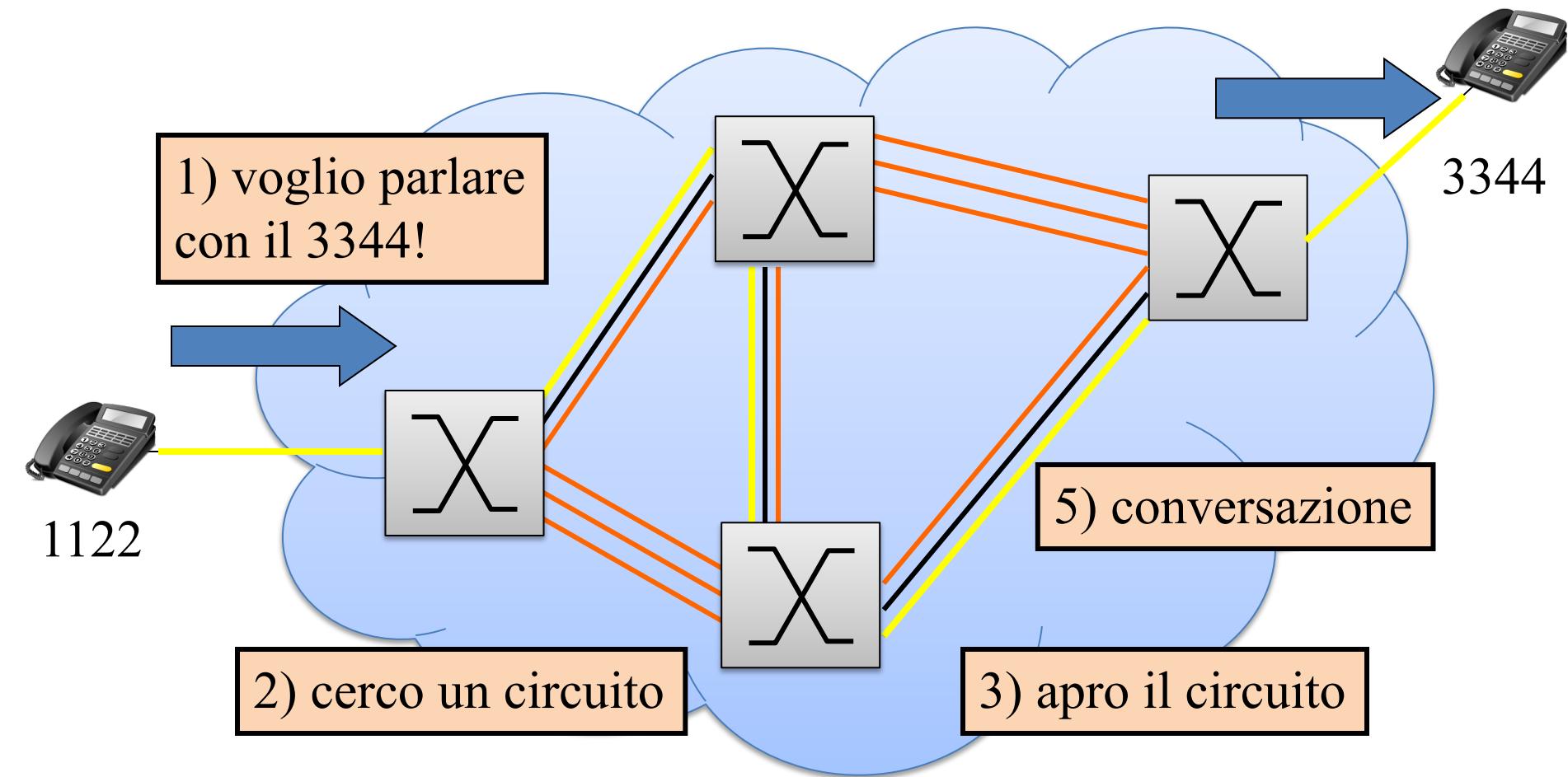
Le risorse per la comunicazione sono riservate per la chiamata

- Esempio rete telefonica



Commutazione di circuito

4) ti cercano!

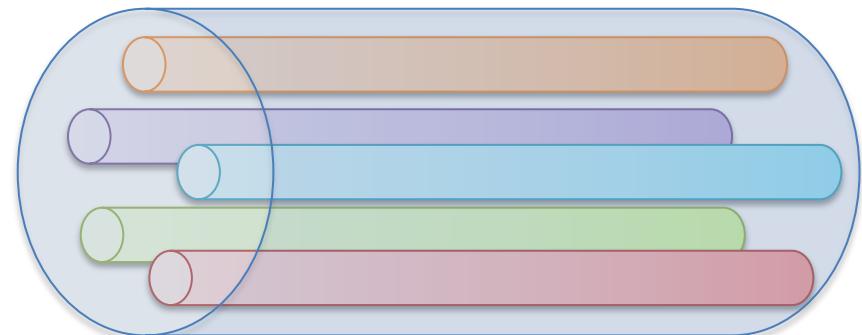


Commutazione di circuito

- Risorse di rete
(collegamenti) suddivise in “pezzi”
- ciascun “pezzo” (= circuito) viene allocato ai vari collegamenti
- le risorse rimangono *inattive* se non utilizzate (*non c'è condivisione*)

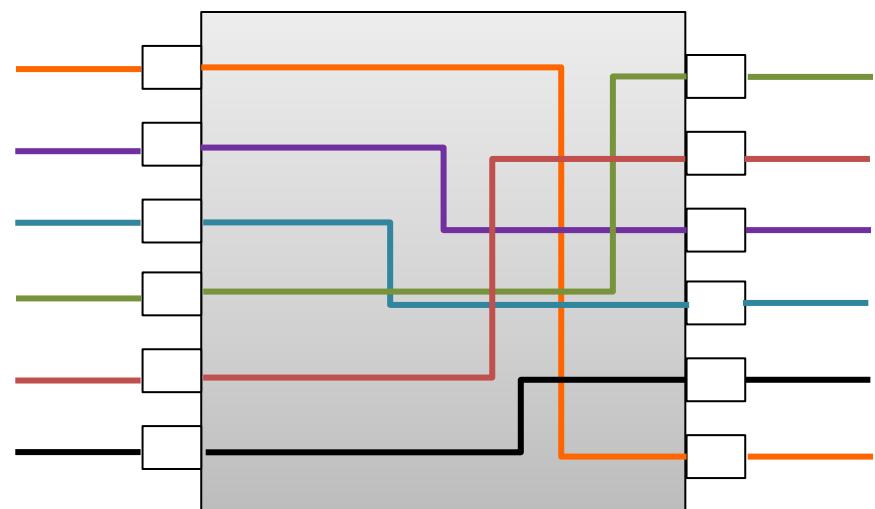
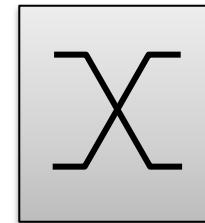
suddivisione della banda in “pezzi”

- divisione di frequenza
- divisione di tempo



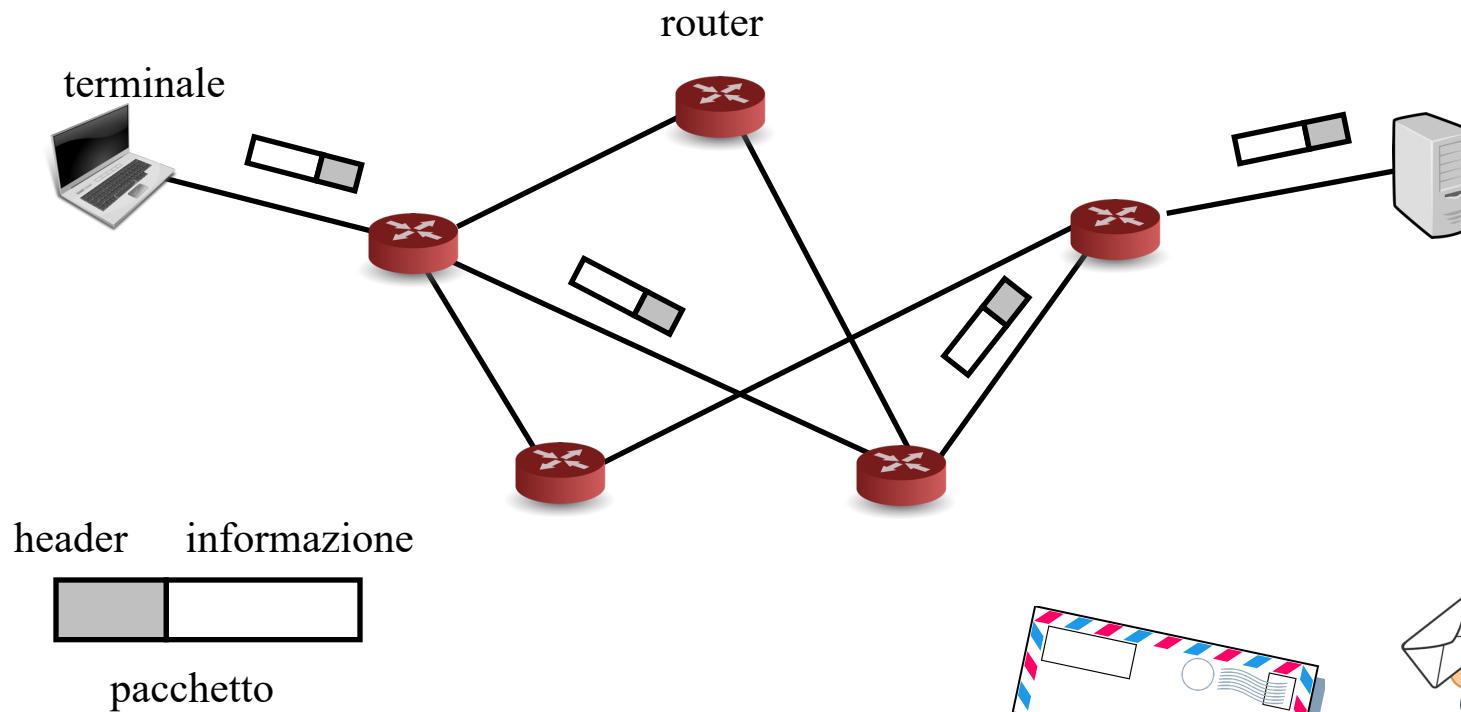
Commutazione di circuito

- **Modello di nodo
(comutatore a
circuito)**
 - La capacità dei canali in ingresso è pari alla capacità (in bit al secondo) di quelli in uscita
 - Non serve memorizzare temporaneamente l'informazione



Commutazione di pacchetto

- **Informazione suddivisa in pezzi**
- **Collegamenti non suddivisi**

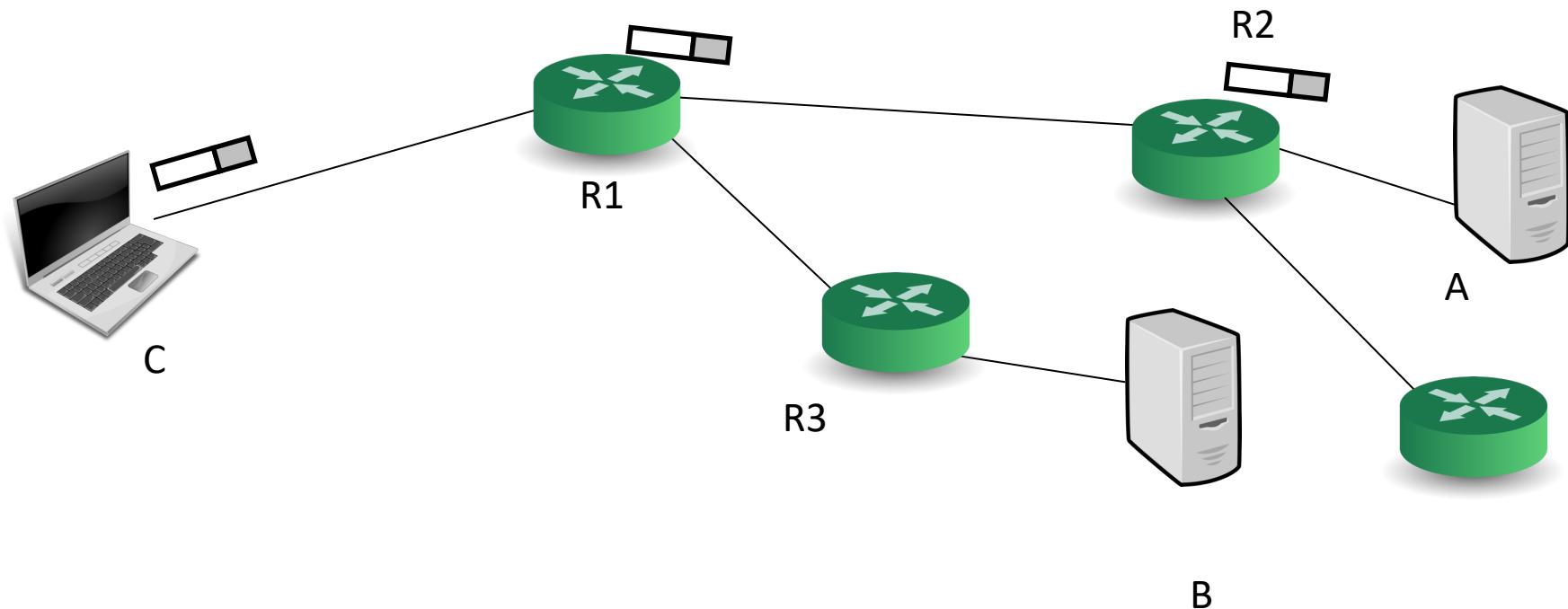


Commutazione di pacchetto



Indirizzo di destinazione: A

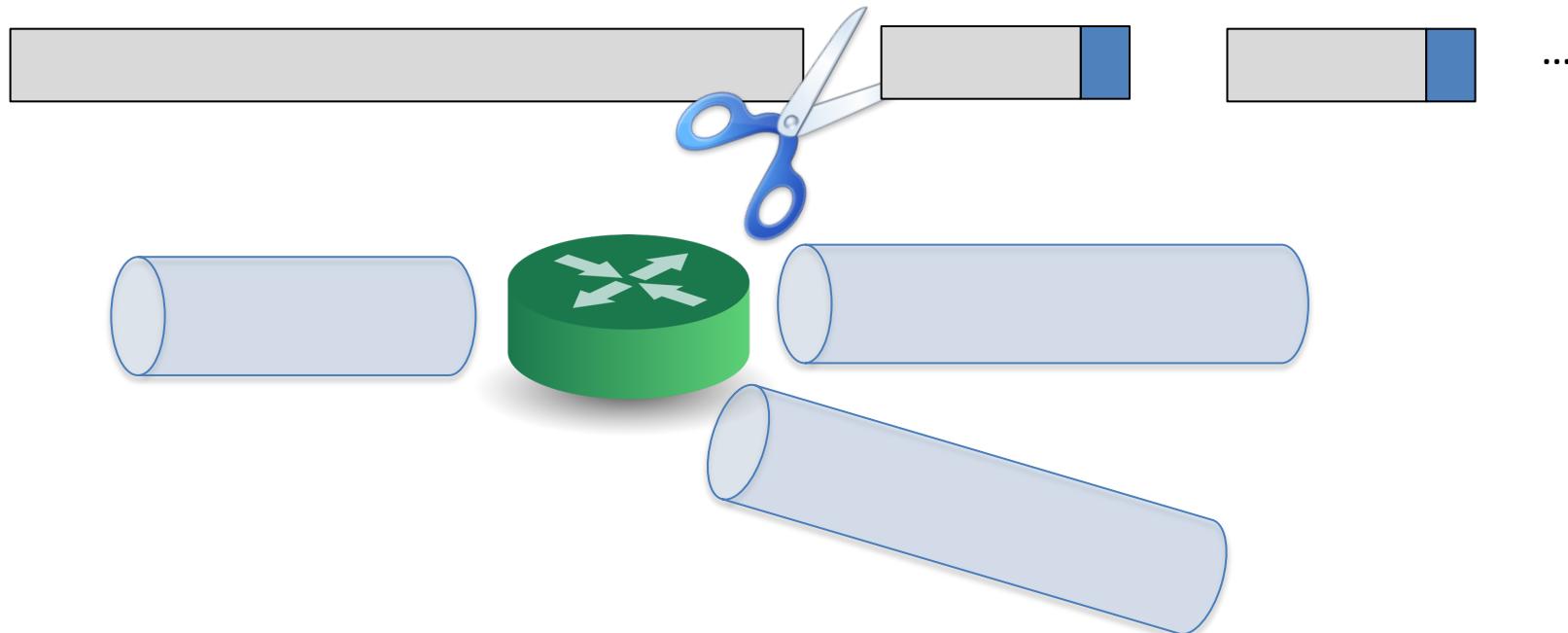
tabella di instradamento	
indirizzo dest.	Prossimo nodo
A	A
...	...
B	R3



Commutazione di pacchetto

Il flusso di dati viene suddiviso in *pacchetti*

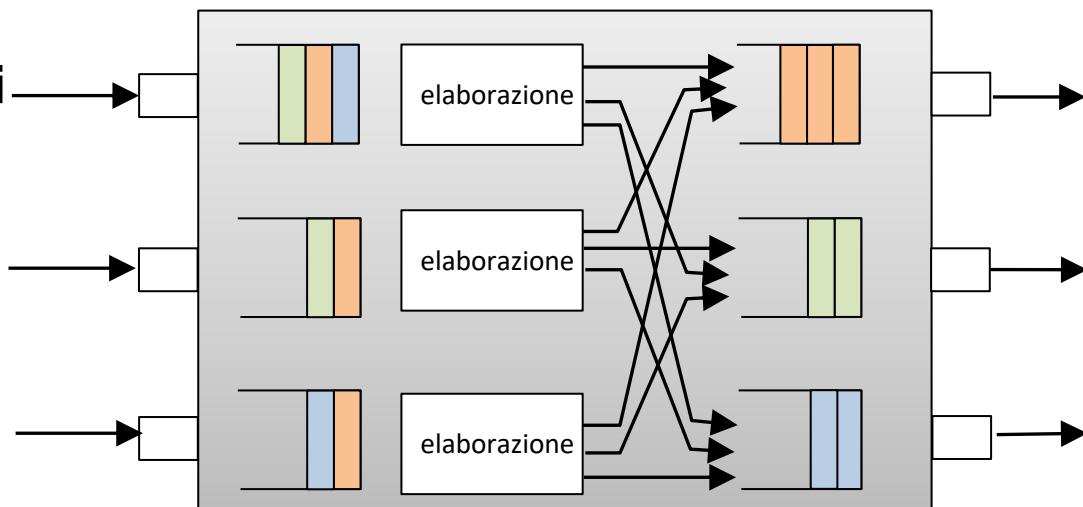
- I pacchetti di tutti gli utenti *condividono* le risorse di rete
- Ciascun pacchetto utilizza completamente il canale
- Le risorse vengono usate a seconda delle necessità



Commutazione di pacchetto

- **Modello di nodo
(packet switch/router)**

- L'arrivo dei pacchetti è **asincrono**
- La capacità dei collegamenti **arbitraria**
- Possono esserci **conflitti temporali** per la trasmissione
- Serve **memorizzare temporaneamente (coda)**
 - **All'ingresso** per analizzare indirizzo destinazione
 - **All'uscita** per gestire conflitti

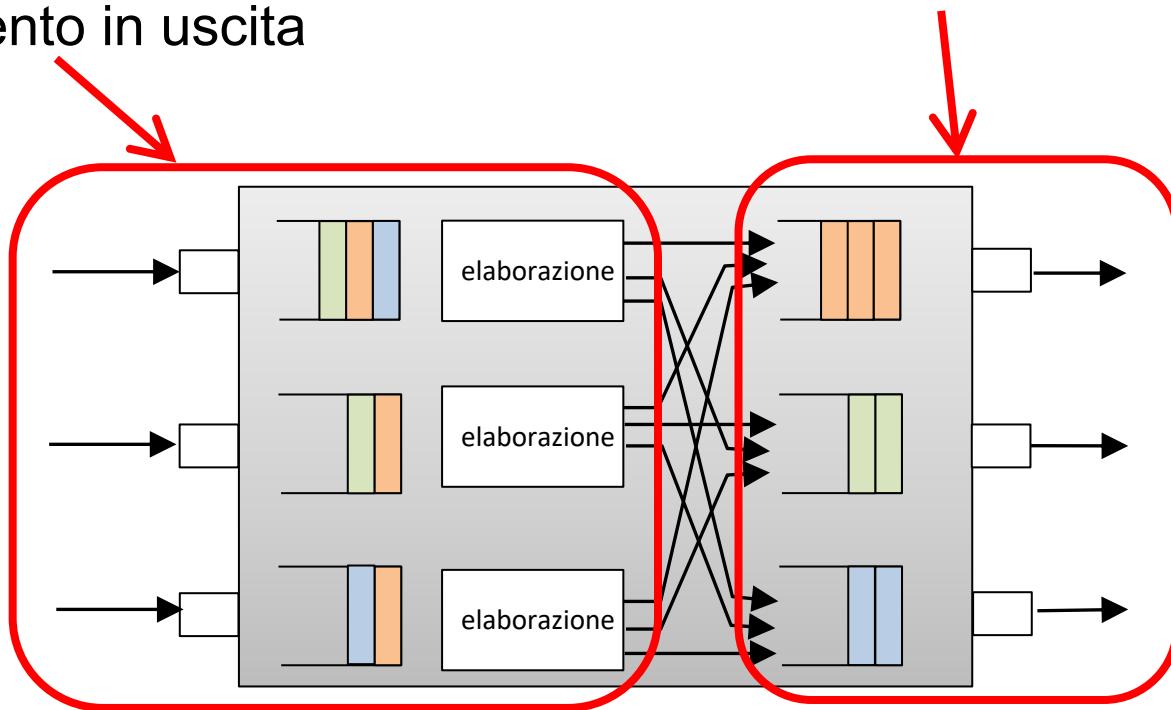


Commutazione di pacchetto

Contesa per le risorse:

store and forward: il commutatore deve ricevere l'intero pacchetto prima di poter cominciare a trasmettere sul collegamento in uscita

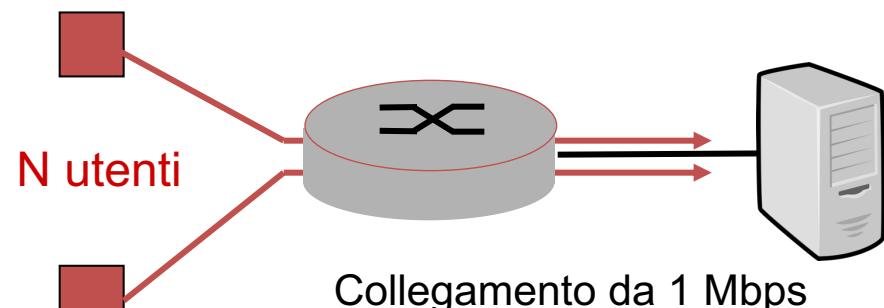
Multiplazione statistica: accodamento dei pacchetti, attesa per l'utilizzo del collegamento



Confronto tra pacchetto e circuito

Esempio:

- 1 collegamento da 1 Mbps
- Ciascun utente:
 - Genera 100 kbps quando è “attivo”
 - È attivo per il 10% del tempo
- **commutazione di circuito:**
 - 10 utenti ($1 \text{ Mbps} / 100 \text{ kbps} = 10$)



- **commutazione di pacchetto:**
 - con 35 utenti, la probabilità di averne > 10 attivi è inferiore a 0,0004
(risultato di teoria della prob.)

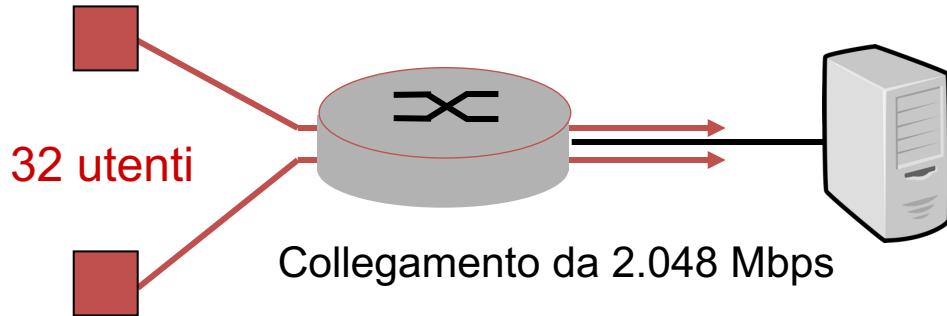
La commutazione di pacchetto consente a più utenti di usare la rete!



Confronto tra pacchetto e circuito

Esempio:

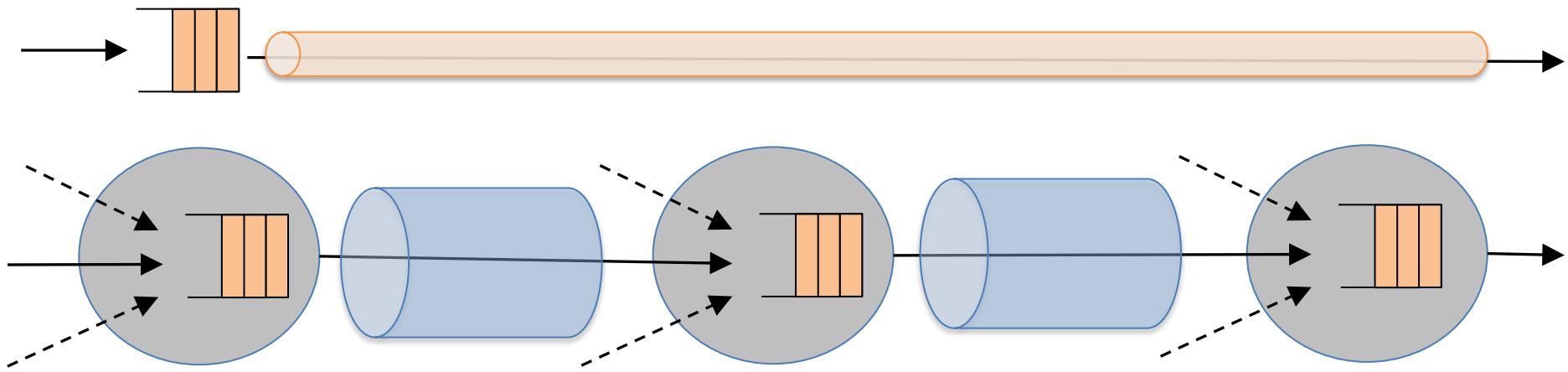
- 1 collegamento da 2.048 Mbps
- 32 utenti, ciascun utente:
 - Chiede pagine web di 50KB ogni 62.5s in media
- **commutazione di circuito:**
 - 1 canale 64 kbps per utente
 - Ritardo di trasferimento pagina web: 6.25s
 $(400 \text{ kbit} / 64 \text{ kbps} = 6,25\text{s})$
- **commutazione di pacchetto:**
 - Ritardo di trasferimento medio pagina web: 0.22s
(risultato di teoria delle code)



La commutazione di pacchetto consente di scaricare le informazioni più velocemente!



Confronto tra pacchetto e circuito



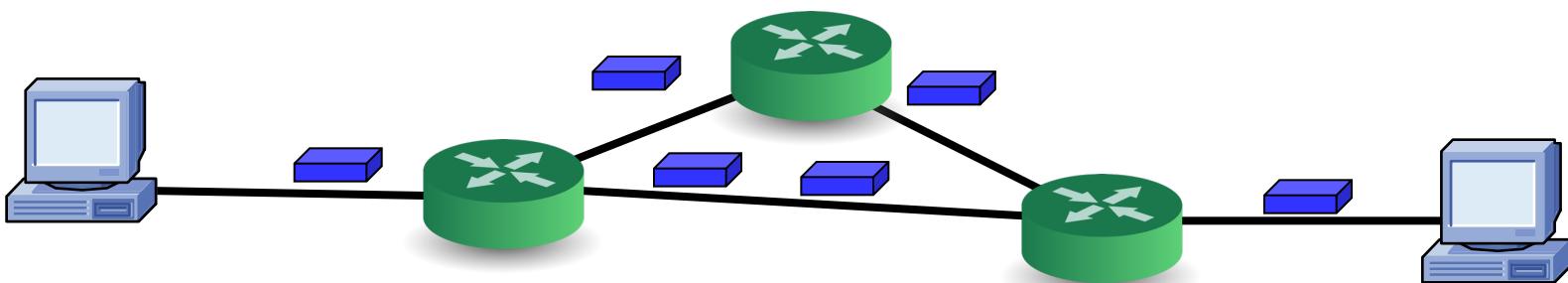
La commutazione di pacchetto è la scelta di Internet

- **Il problema delle coda: ritardo e perdita di pacchetti**
 - Sono necessari protocolli per il trasferimento affidabile dei dati e per il controllo della congestione



Commutazione di pacchetto: datagram e circuito virtuale

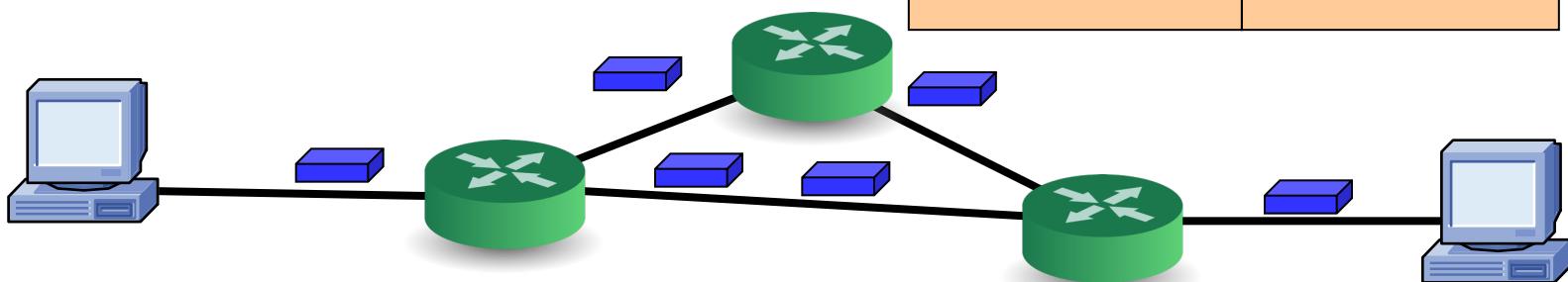
- **Esistono due tipi di commutazione di pacchetto:**
 - Datagram
 - Circuito virtuale



Commutazione di pacchetto: Datagram

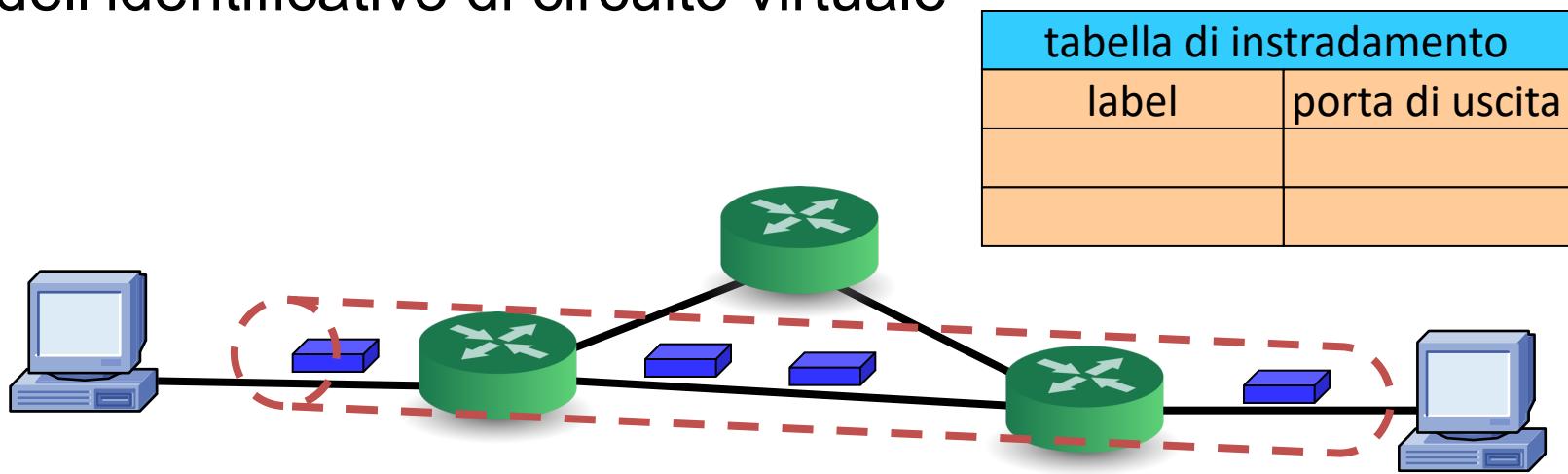
- Nella commutazione datagram la scelta della porta d'uscita viene fatta sulla base del solo indirizzo di destinazione
- I pacchetti dello stesso flusso sono inoltrati indipendentemente

tabella di instradamento	
destinazione	porta di uscita



Commutazione di pacchetto: Circuito virtuale

- I nodi identificano i pacchetti di un flusso informativo sulla base di un identificativo di circuito virtuale (CVI o label)
- Il circuito virtuale viene instaurato in una fase di setup prima della fase dati
- Dopo la fase di setup i pacchetti seguono tutti lo stesso percorso in rete perché sono instradati sulla base dell'identificativo di circuito virtuale



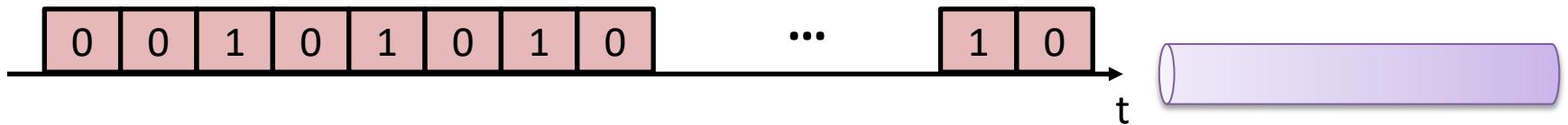


1d – Ritardi e Throughput

Tempo di trasmissione, Propagazione,
Altri ritardi, Throughput

Velocità di trasmissione

- E' la velocità (rate) R con la quale l'informazione digitale viene trasmessa su una linea = numero di bit trasmessi nell'unità di tempo
- E' misurata in bit/s (bps)



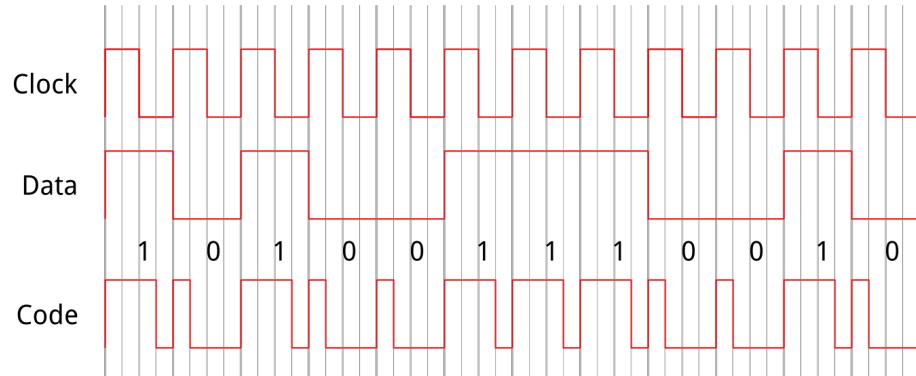
- Unità di misura:

$1 \text{ B} = 8 \text{ bit}$	
$1 \text{ kbps (kb/s)} = 10^3 \text{ bps}$	$1 \text{ kB} = 10^3 \text{ B}$
$1 \text{ Mbps (kb/s)} = 10^6 \text{ bps}$	$1 \text{ MB} = 10^6 \text{ B}$
$1 \text{ Gbps (kb/s)} = 10^9 \text{ bps}$	$1 \text{ GB} = 10^9 \text{ B}$



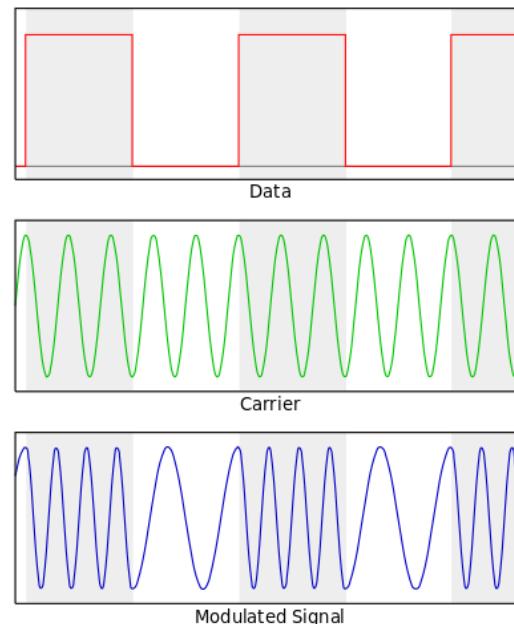
Velocità di trasmissione: esempi

- **Segnale nel tempo di Ethernet con codifica Manchester:**



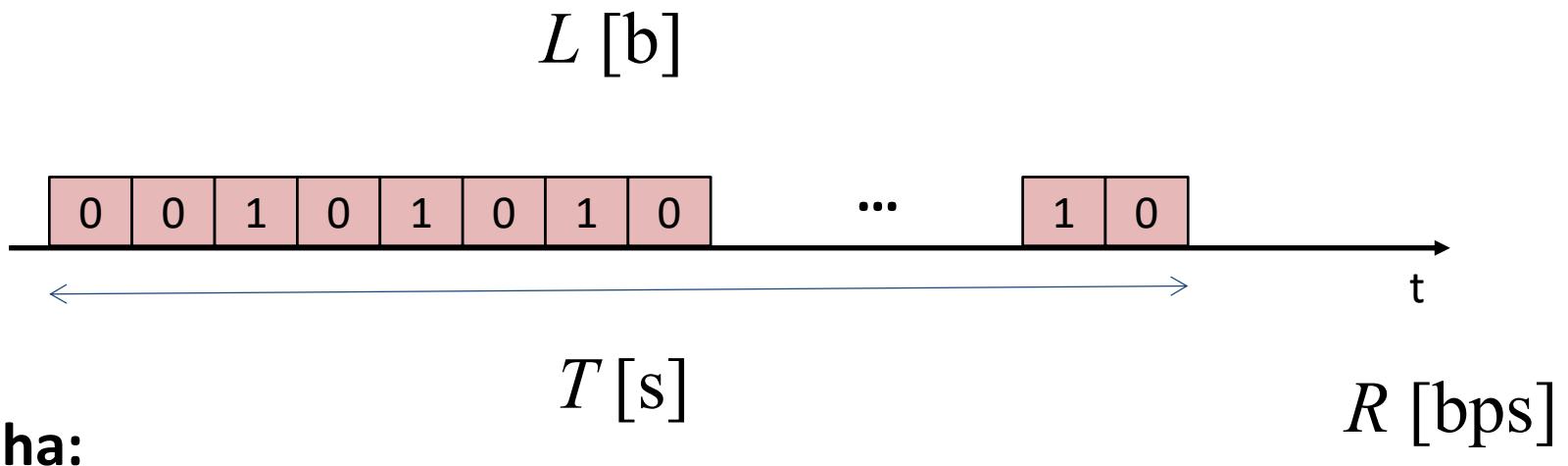
- **Segnale modulato in frequenza del GSM:**

NOTA: Il motivo per il quale la durata del singolo bit non può essere piccolissima (e quindi la velocità grandissima) deriva a limiti dei canali trasmissivi che saranno trattati nell'ultima parte del corso.



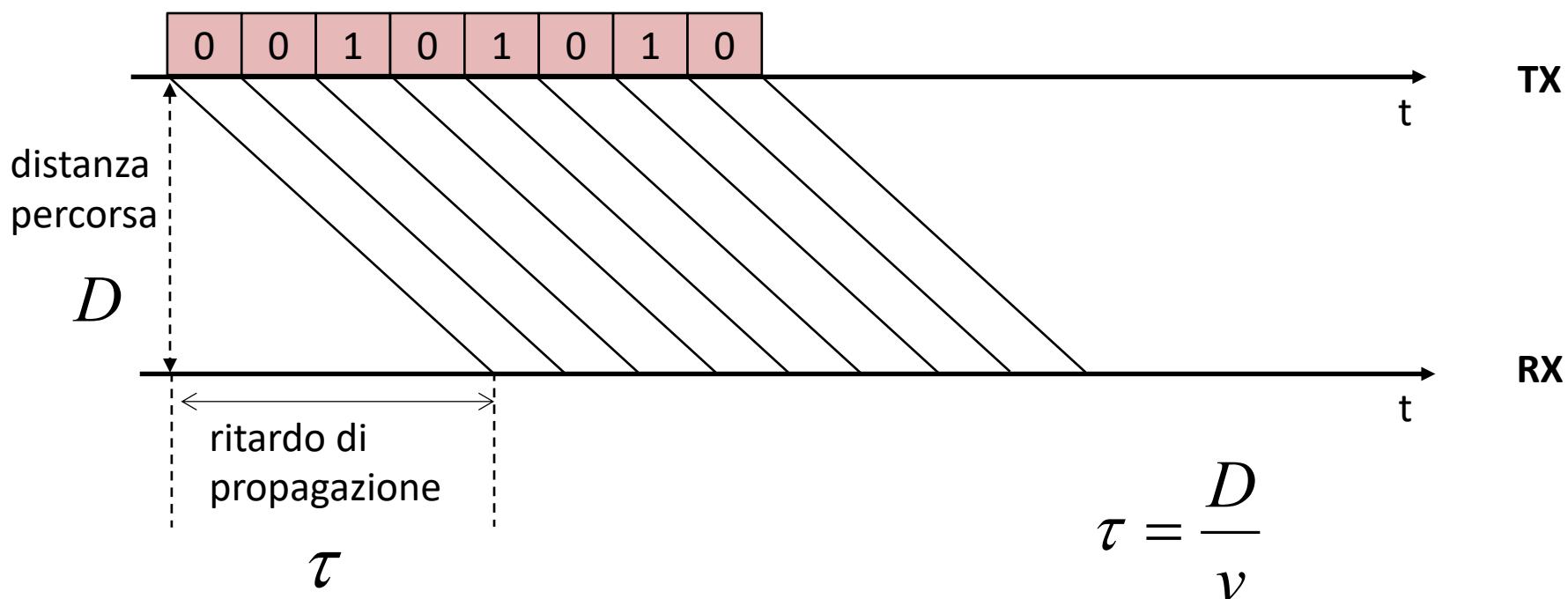
Tempo di trasmissione

- Il tempo T per trasmettere L bits dipende dalla velocità di trasmissione R

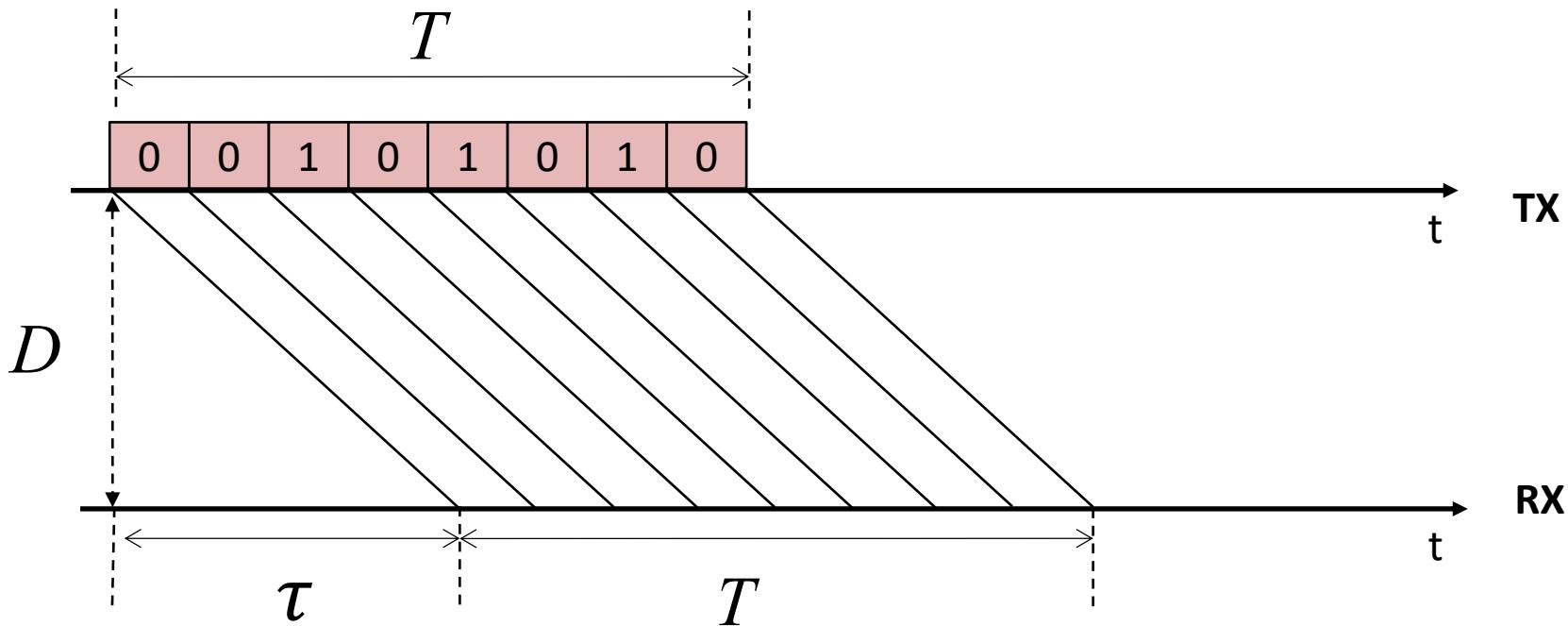


Ritardo di propagazione

- Il tempo τ affinché un impulso trasmesso dal trasmettitore TX raggiunga il ricevitore RX dipende dalla distanza D (in m) e dalla velocità di propagazione v (in m/s, prossima alla velocità della luce)



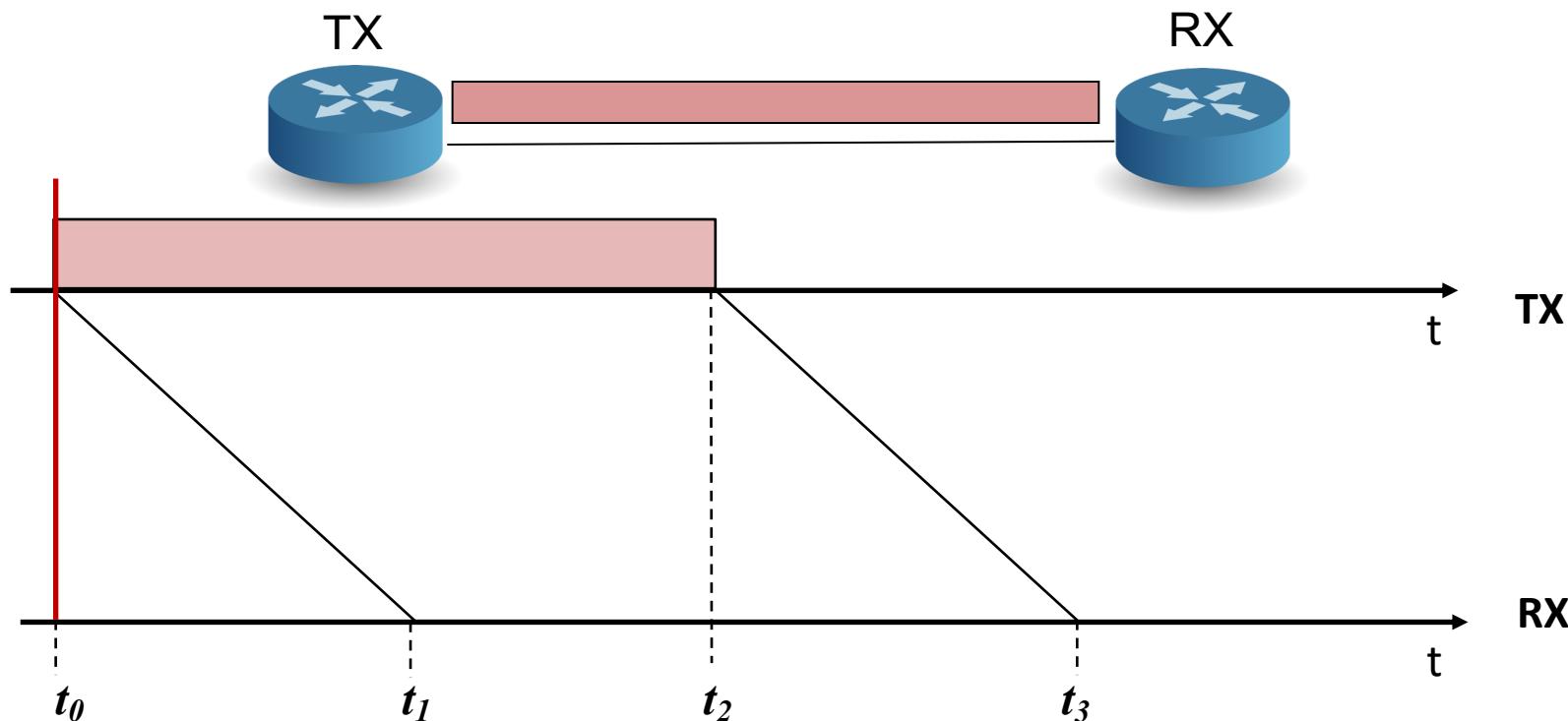
Tempi di attraversamento del canale



Ritardo fra la trasmissione del
primo bit e la ricezione dell'ultimo $T_{tot} = T + \tau$



Tempi di attraversamento del canale



t_0 =inizio trasmissione

t_1 =arrivo primo bit

t_2 =fine trasmissione

t_3 =arrivo ultimo bit

Tempo di trasmissione:

$$T = t_2 - t_0 = t_3 - t_1 = L/R \quad L=\text{lunghezza del pacchetto [bit]}$$

$$R=\text{velocità di trasm. [bit/s]}$$

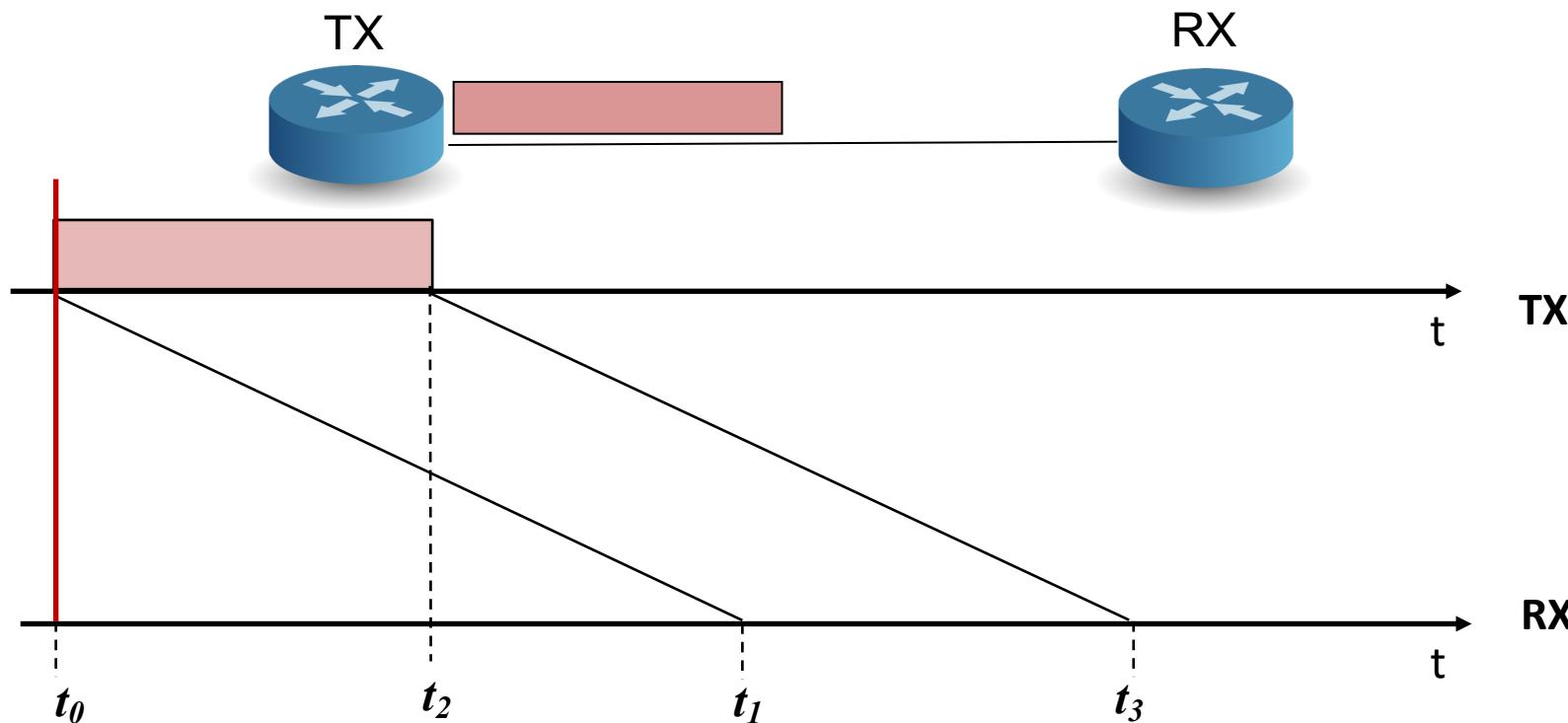
Ritardo di propagazione:

$$\tau = t_1 - t_0 = t_3 - t_2 = D/v \quad D=\text{lunghezza del coll. [m]}$$

$$v=\text{velocità di prop. [m/s]}$$



Tempi di attraversamento del canale



t_0 =inizio trasmissione

t_1 =arrivo primo bit

t_2 =fine trasmissione

t_3 =arrivo ultimo bit

Tempo di trasmissione:

$$T = t_2 - t_0 = t_3 - t_1 = L/R \quad L=\text{lunghezza del pacchetto [bit]}$$

$$R=\text{velocità di trasm. [bit/s]}$$

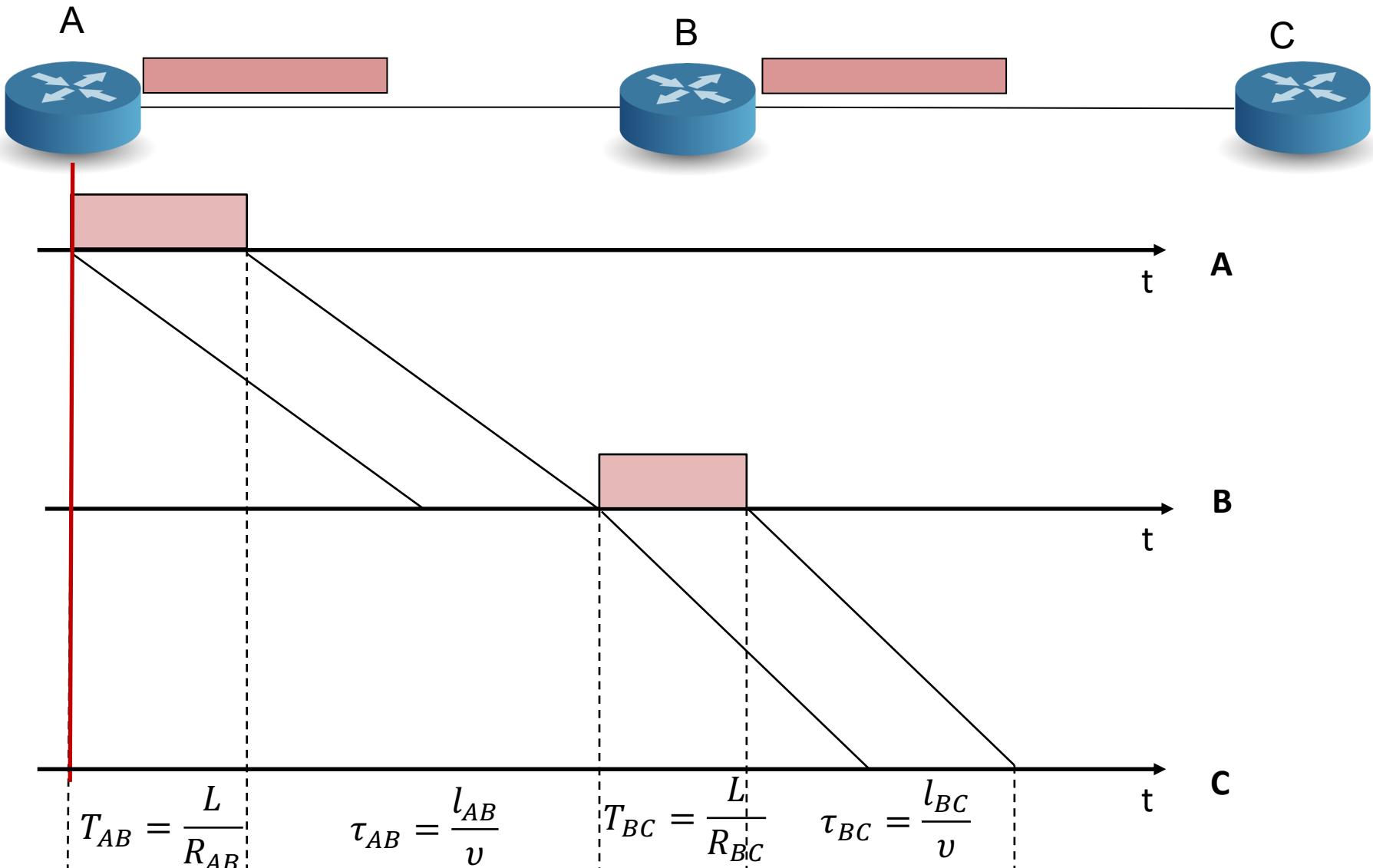
Ritardo di propagazione:

$$\tau = t_1 - t_0 = t_3 - t_2 = D/v \quad D=\text{lunghezza del coll. [m]}$$

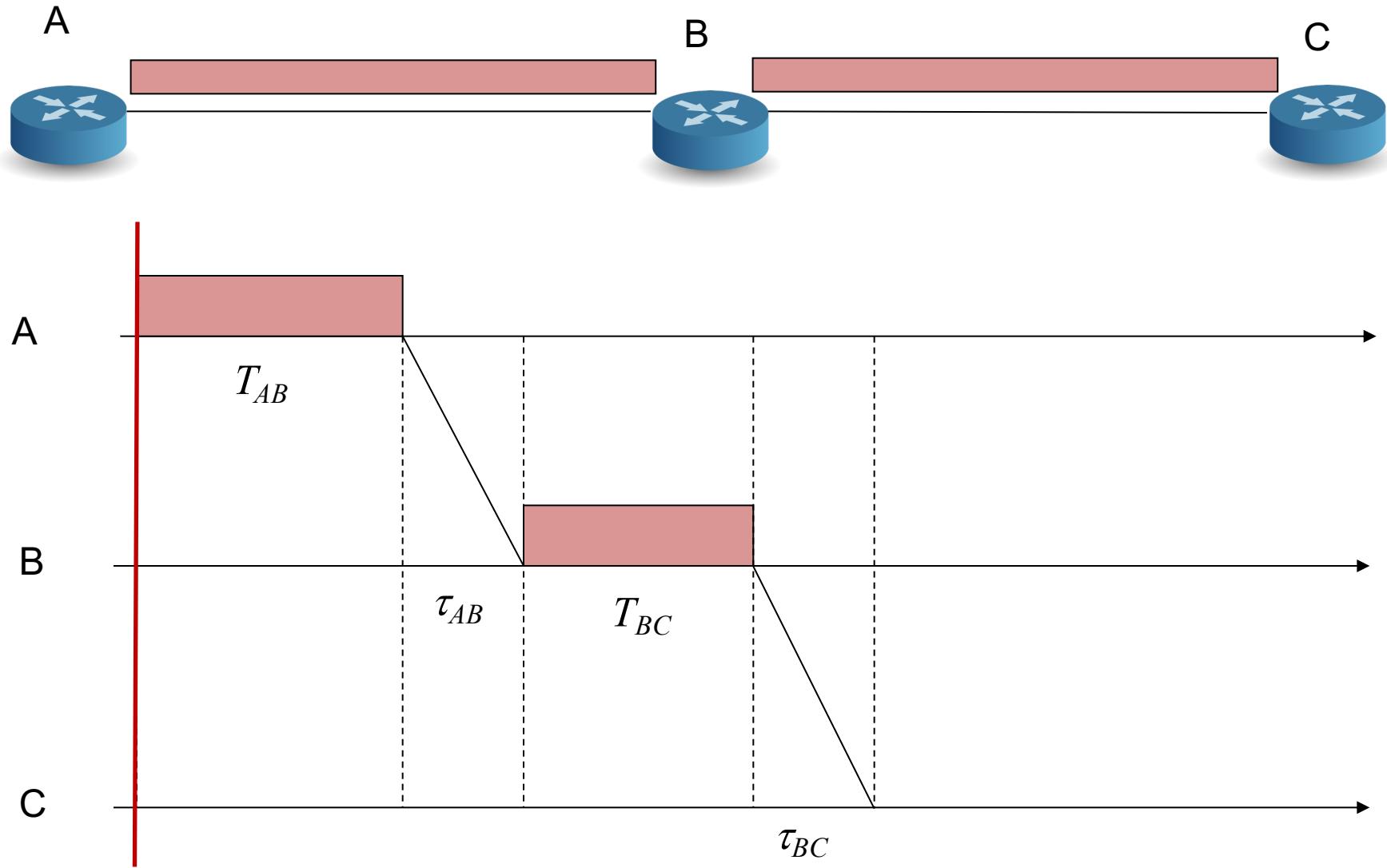
$$v=\text{velocità di prop. [m/s]}$$



Store and forward

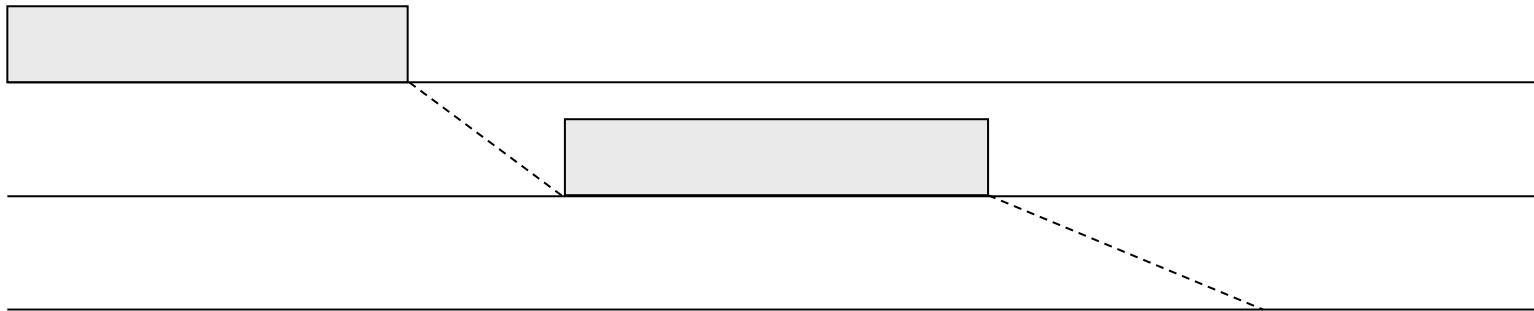


Store and forward

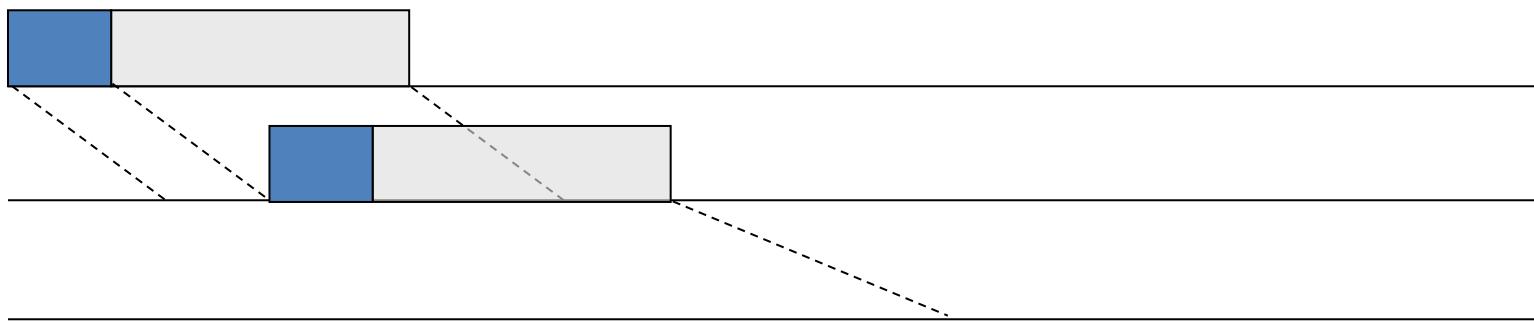


Commutazione a Pacchetto Cut-Through

- ***Store-and-forward:*** il pacchetto deve essere completamente ricevuto prima di essere ritrasmesso

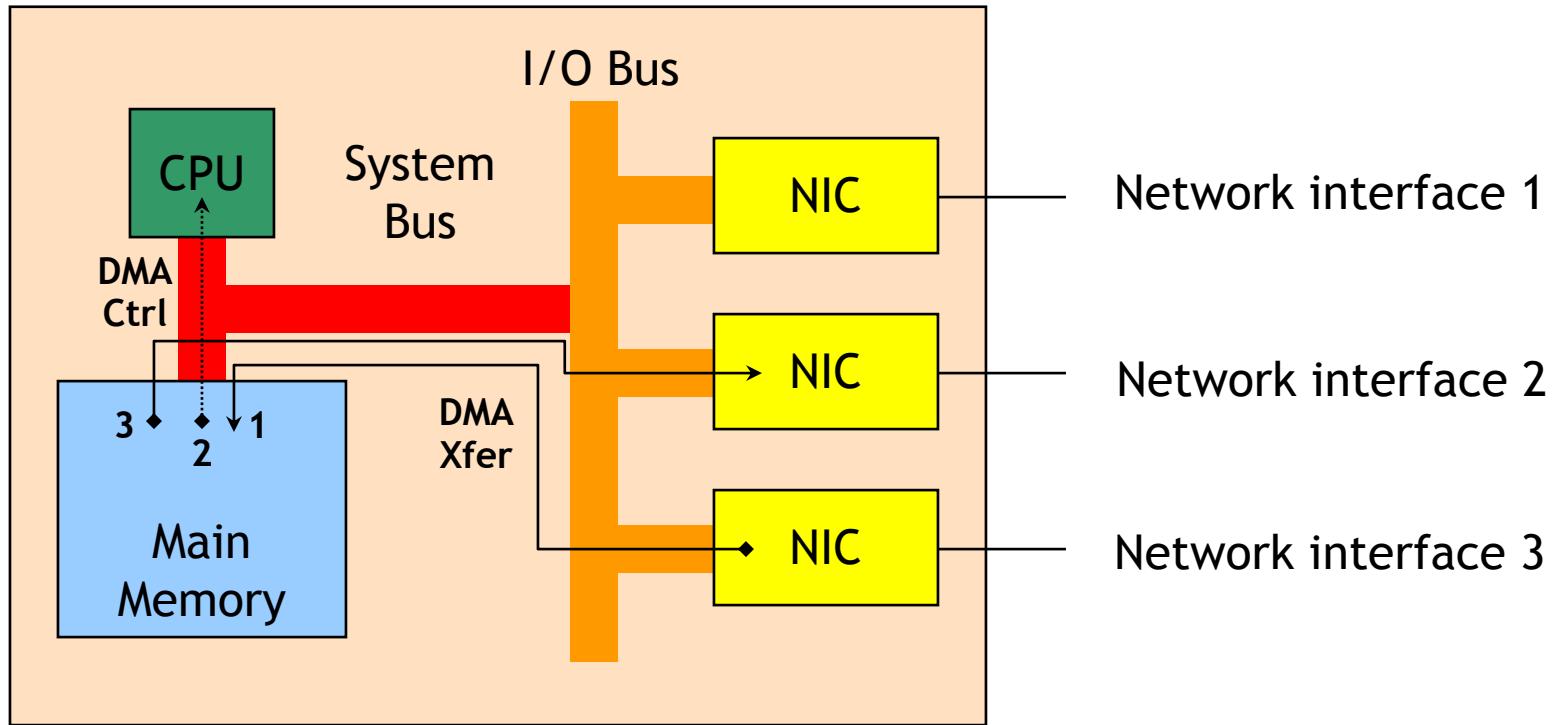


- ***Cut-Through:*** il pacchetto viene ritrasmesso alla completa ricezione dell'header



Architettura semplificata di un nodo

Packet switch su architettura hardware general purpose (soft-switch)



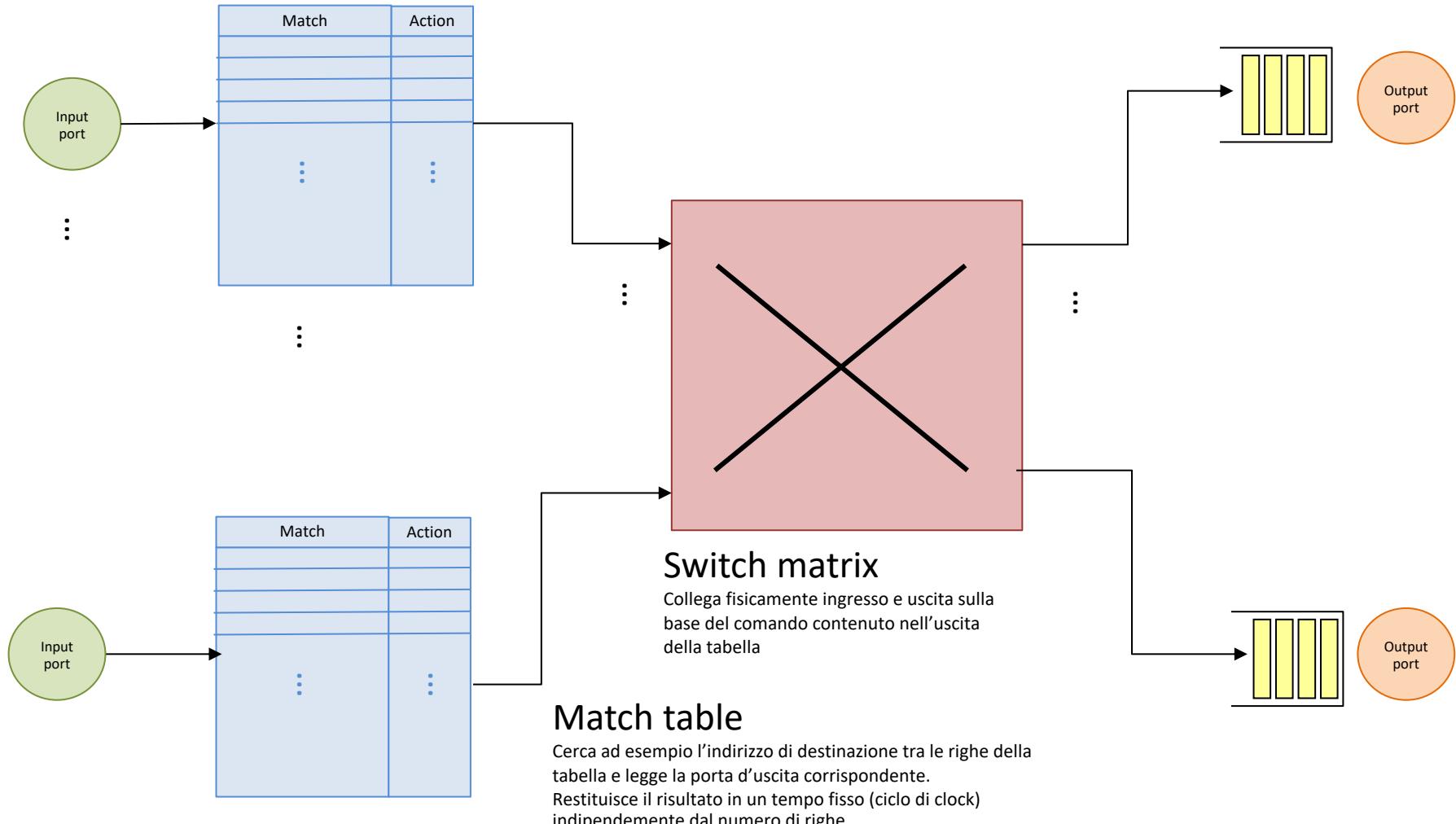
1. Packet input
2. Header processing
Routing table lookup
DMA transaction
3. Packet output

NIC = Network Interface Controller
DMA = Direct Memory Access

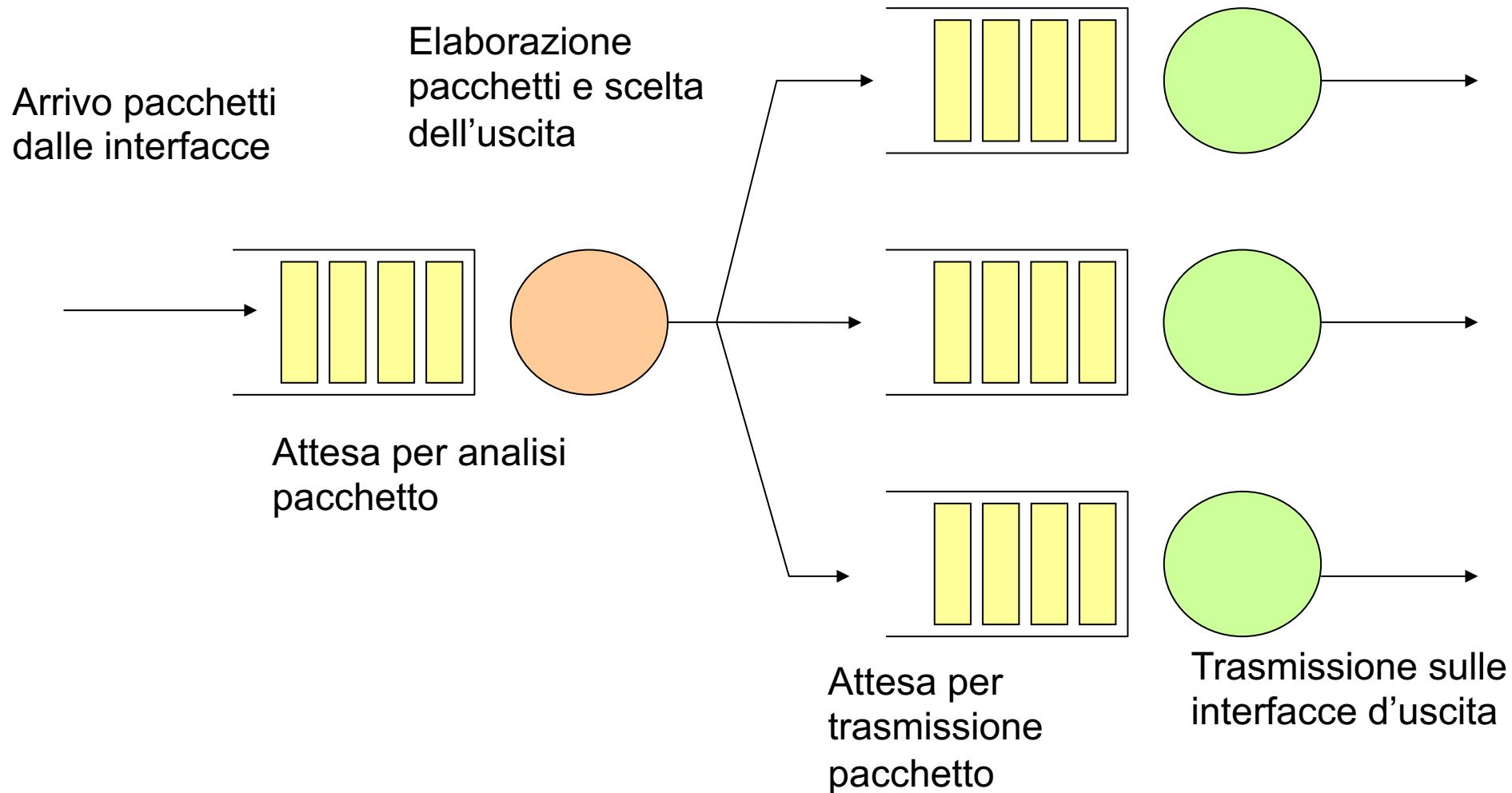


Architettura semplificata di un nodo

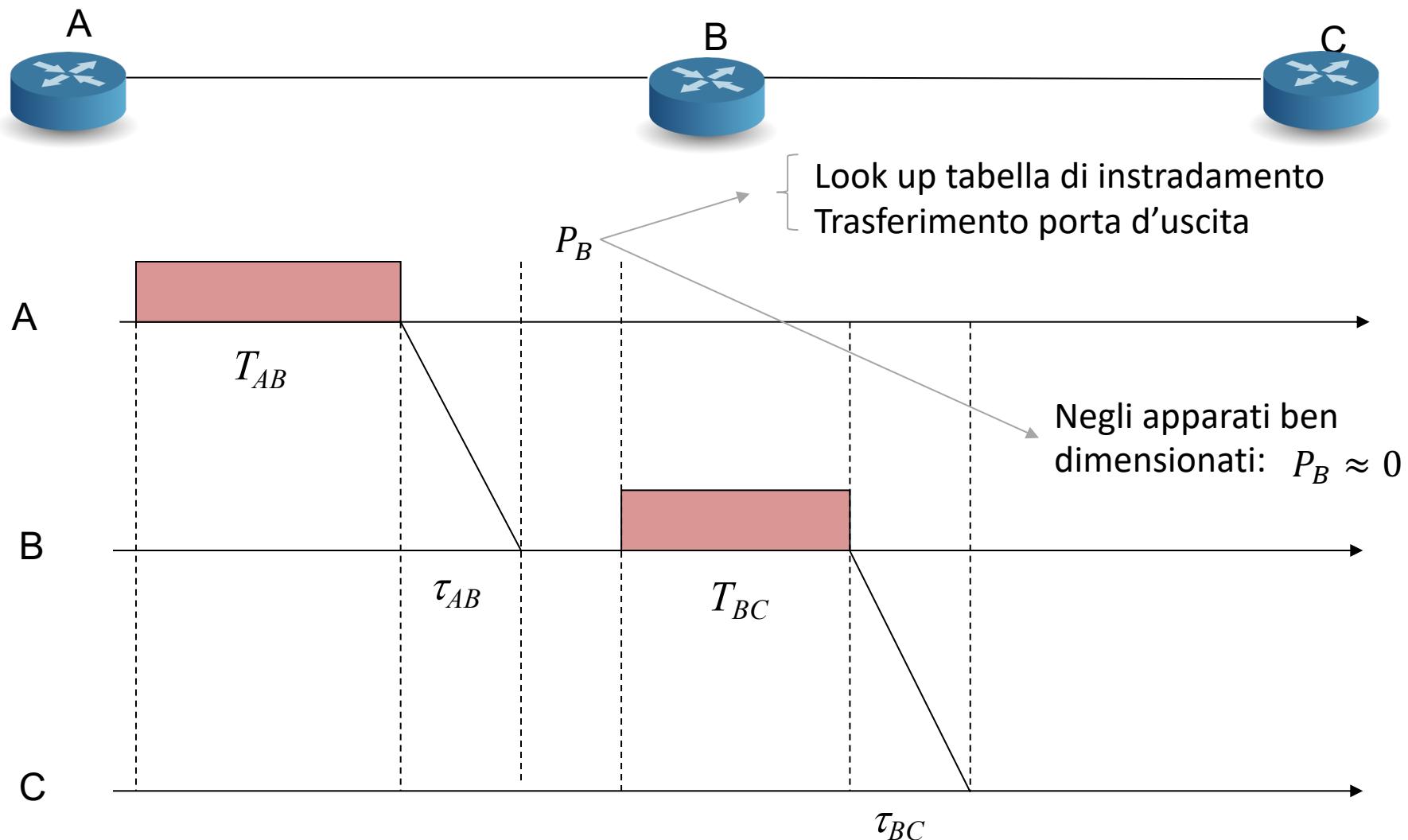
Packet switch su architettura hardware dedicata (hardware-switch)



Modello di un nodo



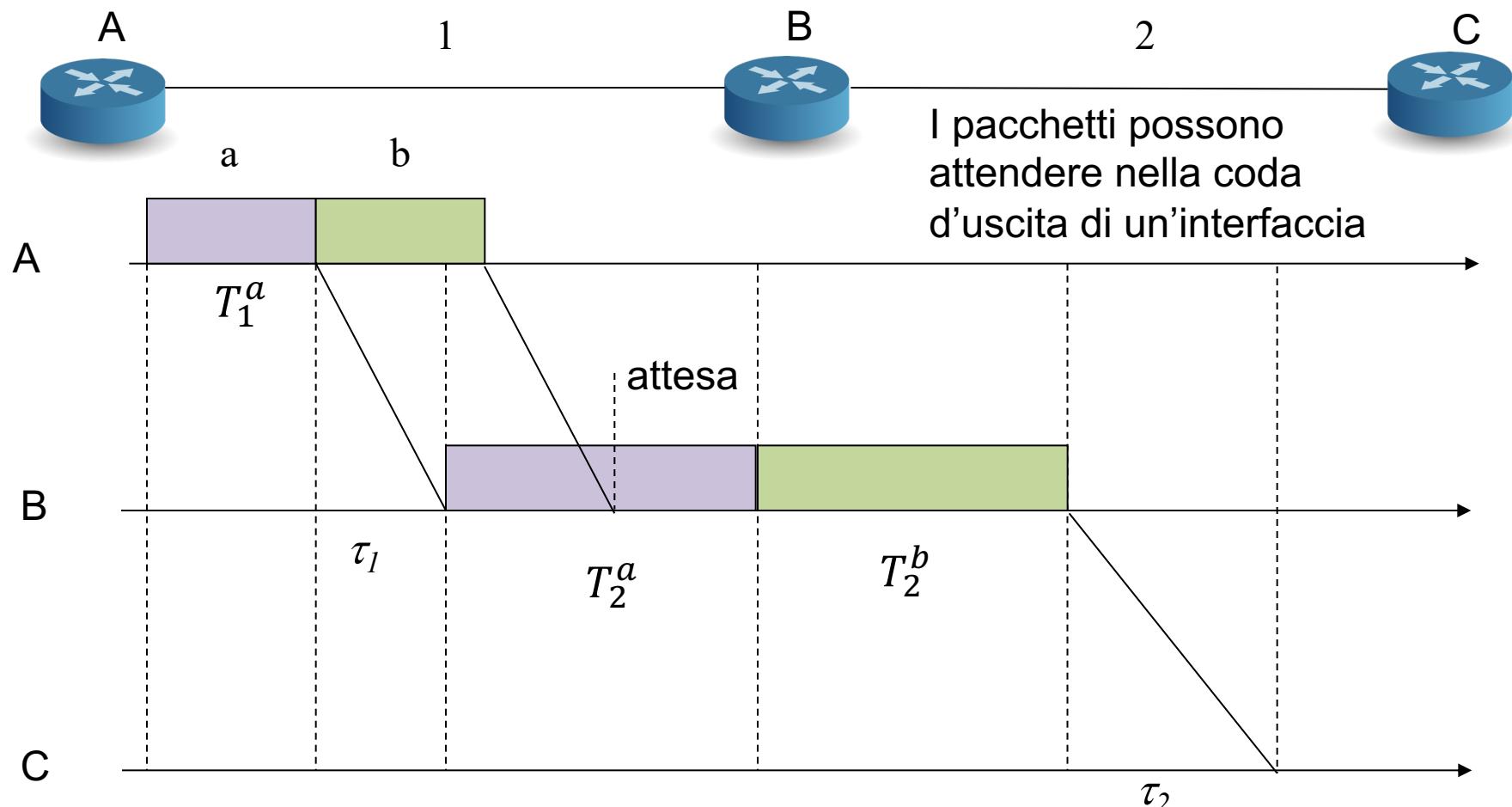
Tempo di elaborazione



Ritardo di accodamento

- Se la linea di uscita è occupata occorre aspettare in coda

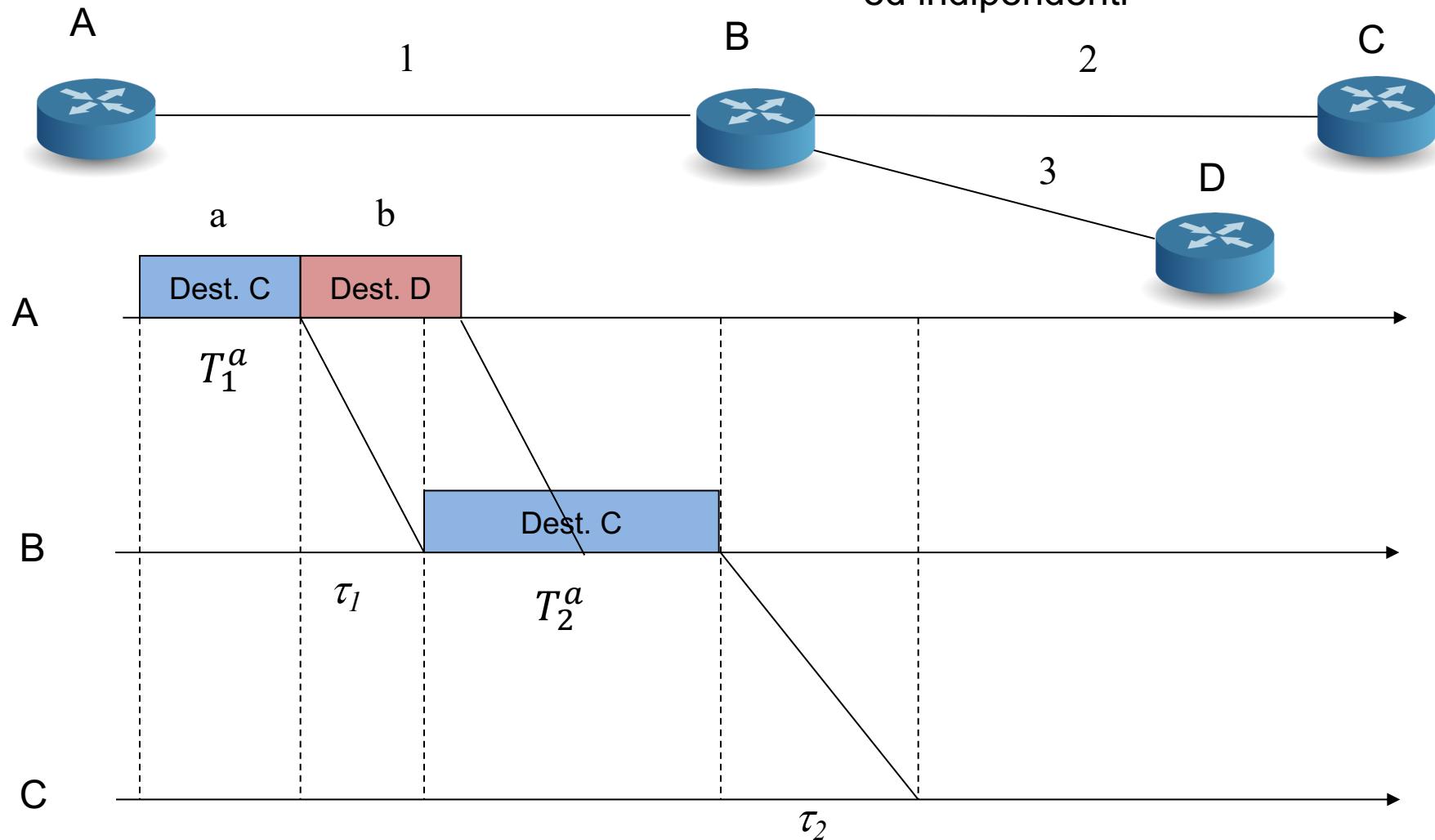
Esempio 1



Ritardo di accodamento

Esempio 2

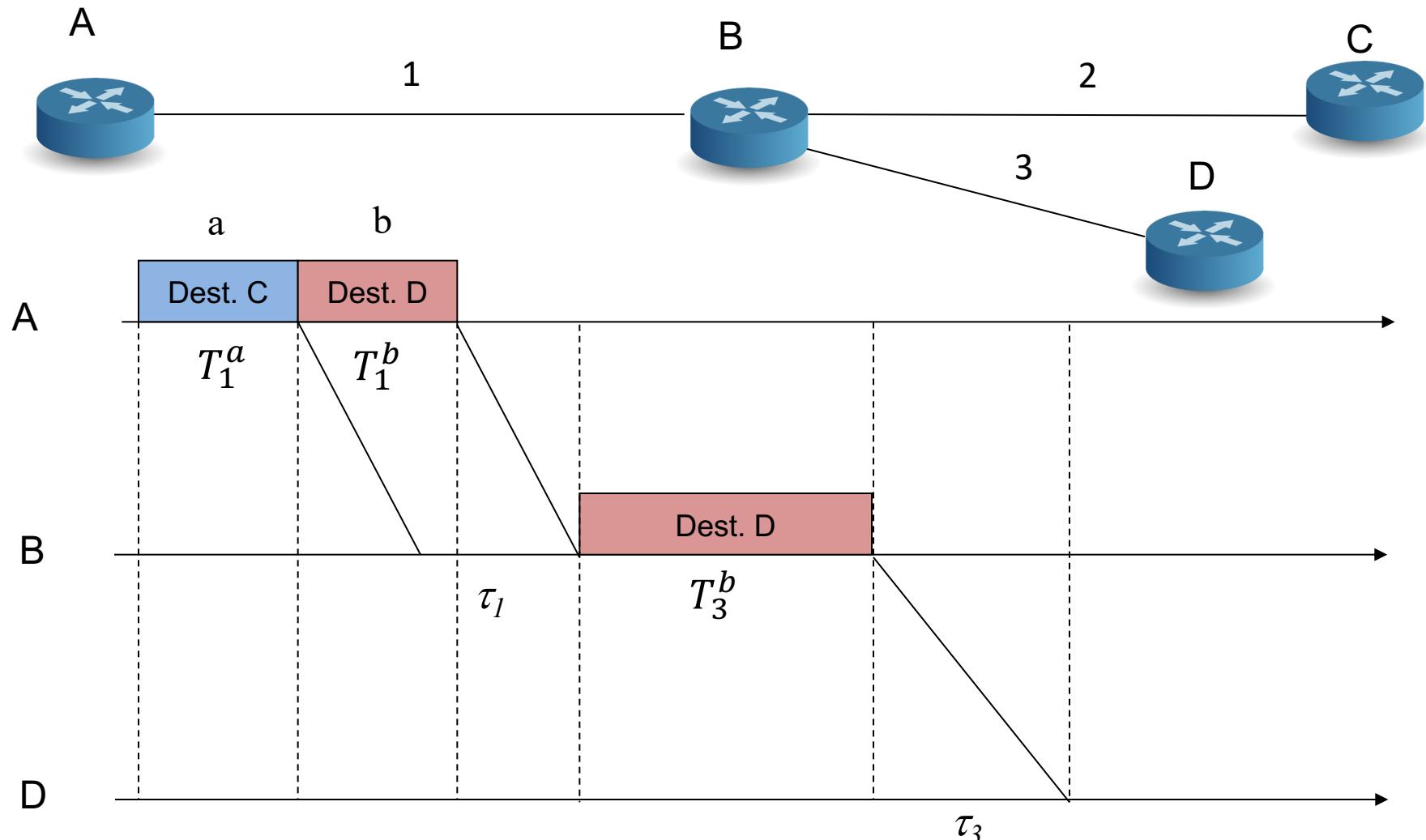
Interfacce diverse hanno code d'uscita separate ed indipendenti



Ritardo di accodamento

Esempio 2 (continua)

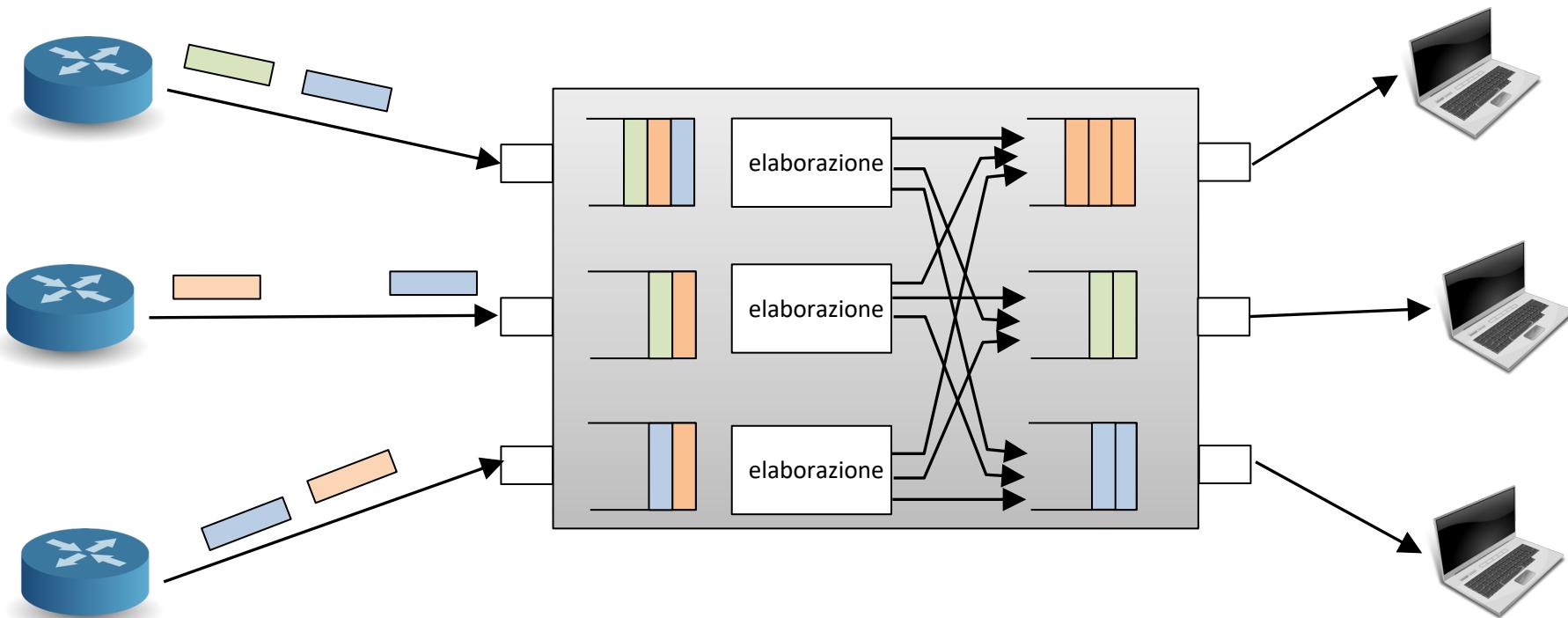
Interfacce diverse hanno code d'uscita separate ed indipendenti



Ritardo di accodamento

Multiplazione statistica

Più in generale il **ritardo di accodamento** dipende dalla **multiplazione statistica** dovuto all'arrivo asincrono dei pacchetti alle code d'uscita (trasmissione)



Ritardo di accodamento

Multiplazione statistica

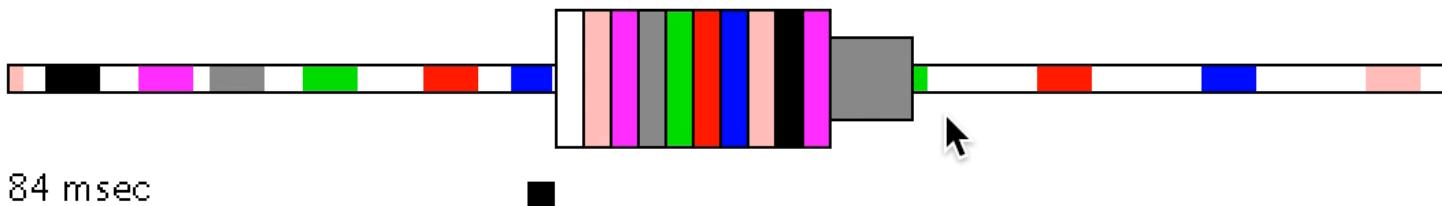
Più in generale il **ritardo di accodamento** dipende dalla **multiplazione statistica** dovuto all'arrivo asincrono dei pacchetti alle code d'uscita (trasmissione)

Emission rate Transmission rate



112 msec
0 packets dropped out of 32

Emission rate Transmission rate



84 msec
1 packets dropped out of 35



Ritardo di Accodamento

Del **ritardo di accodamento medio** T_a si possono fare dei modelli statistici basati sulla **teoria delle code**:

R = velocità del link [b/s]

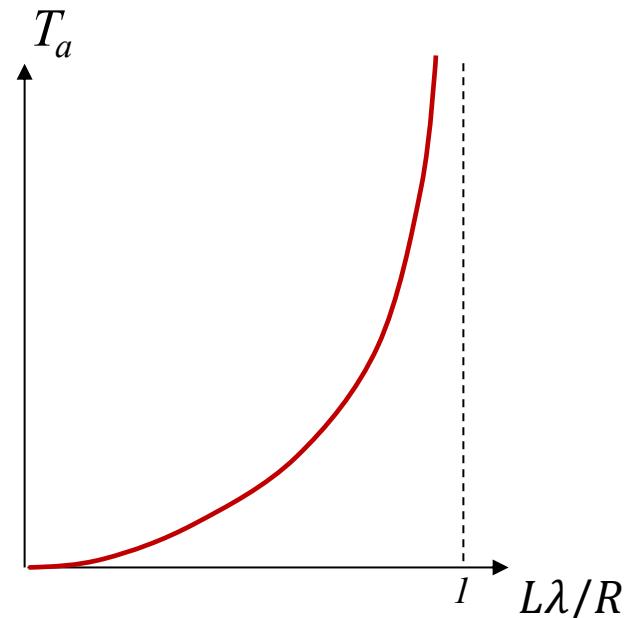
L = lunghezza pacchetto [bits]

λ = frequenza di arrivo dei pacchetti [pack/s]

Intensità di traffico = $L\lambda/R \sim 0$

$L\lambda/R \sim 0$: ritardo in coda piccolo

$L\lambda/R \rightarrow 1$: il ritardo tende all'infinito



Ritardo di Accodamento

Del **ritardo di accodamento medio** T_a si possono fare dei modelli statistici basati sulla **teoria delle code**:

R = velocità del link [b/s]

L = lunghezza pacchetto [bits]

λ = frequenza di arrivo dei pacchetti [pack/s]

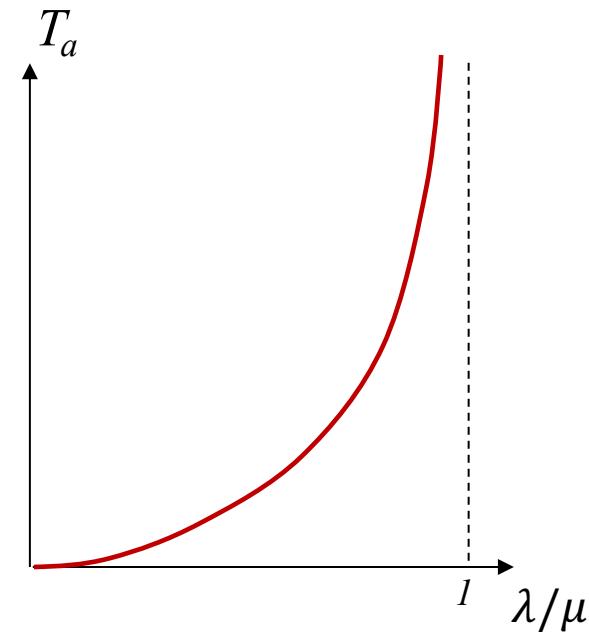
Definiamo:

μ = frequenza di trasmissione dei pacchetti [pack/s]

Si ha:

$$\mu = \frac{R}{L}$$

Si può mostrare che sotto alcuni condizioni sulla statistica degli arrivi e la distribuzione delle lunghezze dei pacchetti:

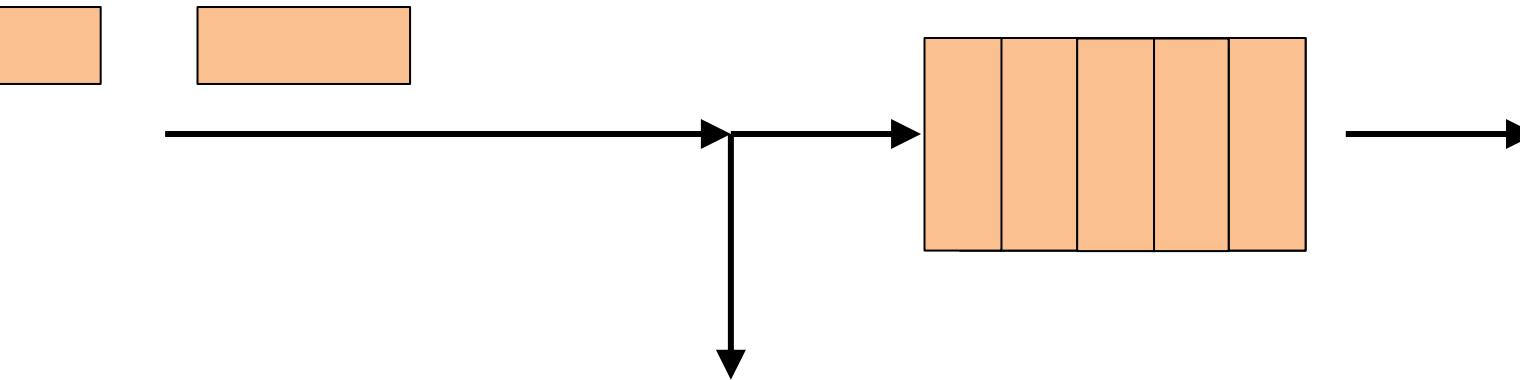


$$T_a = \frac{1}{\mu - \lambda} - \frac{1}{\mu}$$



Perdite di pacchetti in Internet

- Le code hanno **dimensioni limitate**
- In **congestione** (coda piena) i pacchetti che arrivano vengono **scartati**
- I pacchetti persi possono essere **ritrasmessi** o meno a seconda del livello/protocollo che gestisce l'evento di perdita (vedremo esempi a livello di linea e di trasporto).



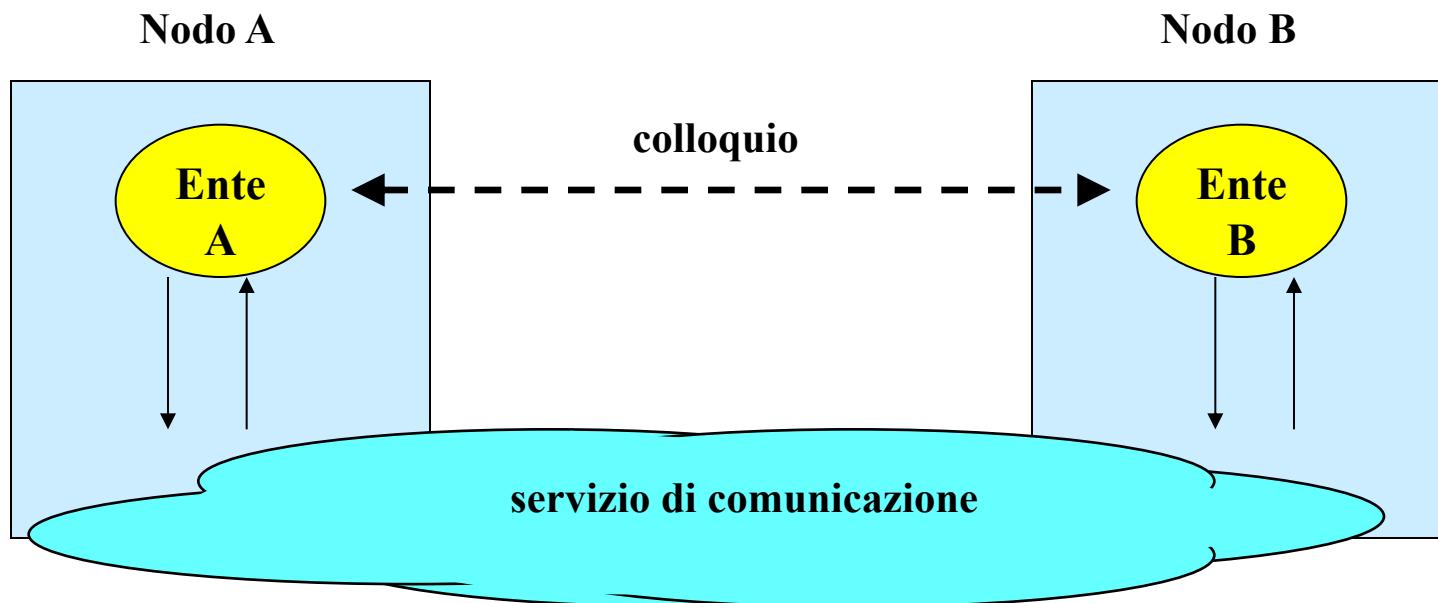


1e – Modelli di servizio e livelli dei protocolli

**Servizio di comunicazione, protocolli,
primitive di servizio, architetture a livelli,
funzioni di rete**

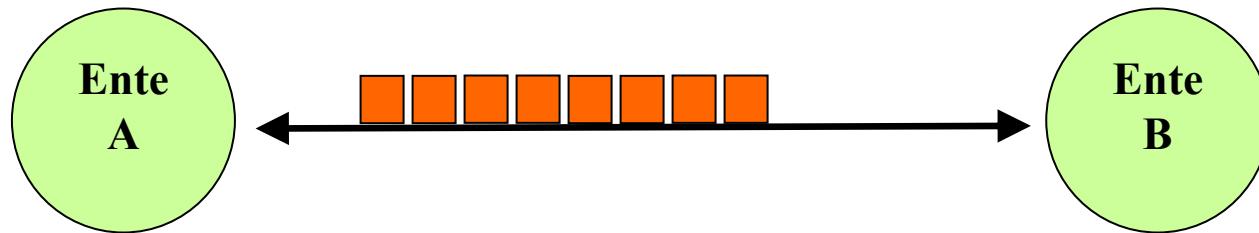
Il servizio di comunicazione

- Date due o più entità remote
- Possiamo descrivere il servizio di comunicazione per scambio di messaggi come un “fornitore del servizio di trasporto dell'informazione”



Il servizio di comunicazione

- **Gestisce lo scambio di informazione fra due “entità”**
- **E’ in generale un servizio di trasferimento di unità informative:**
 - Messaggi applicativi (richieste e risposte di browser e server web, messaggi di email, file, ecc.)
 - Flussi multimediali (flussi audio, video, ecc.)
 - Gruppi di bit (pacchetti)
 - Bit



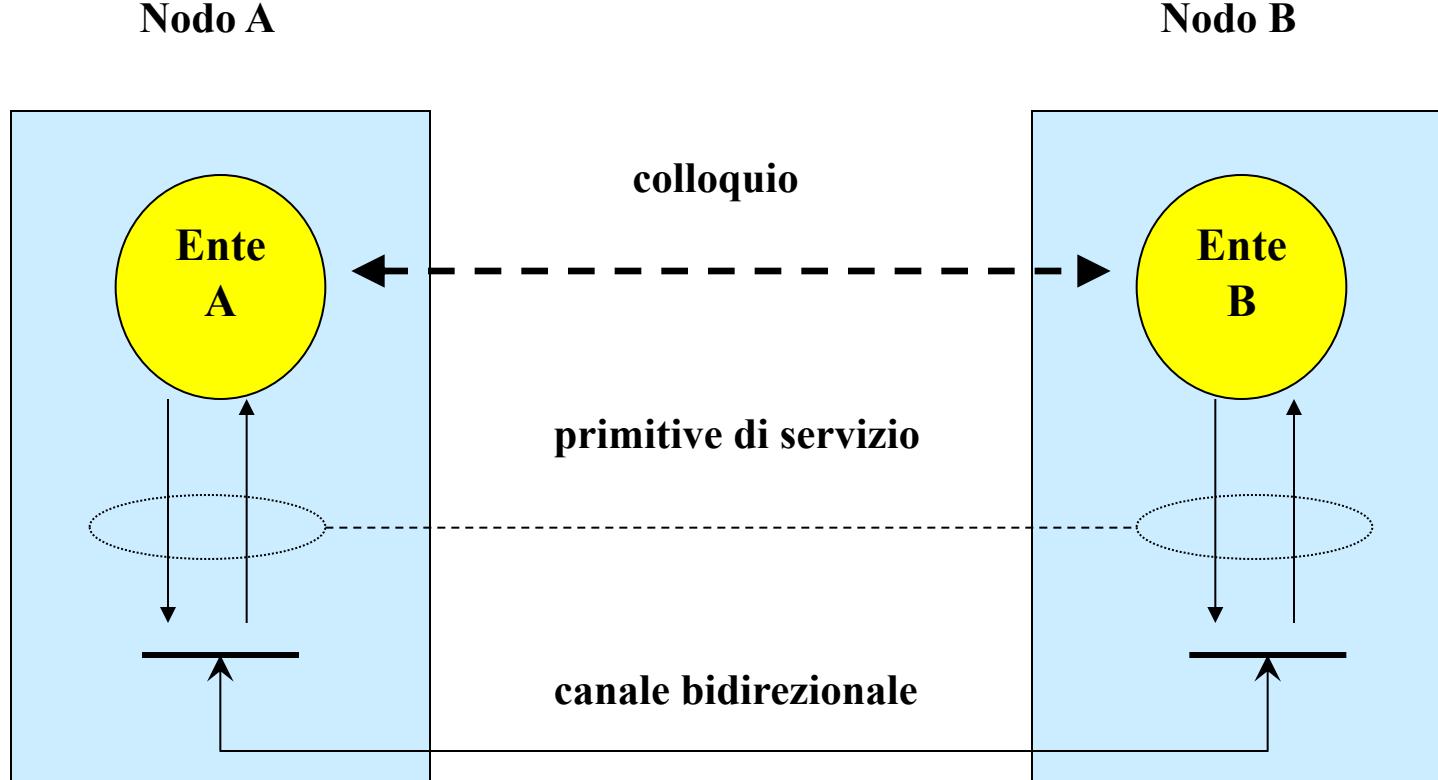
Primitive di servizio

- il servizio di comunicazione può essere descritto mediante delle ***chiamate di servizio*** dette **primitive di servizio**
- le primitive di servizio servono a descrivere il servizio, a richiederlo e a ricevere informazioni sul servizio dal fornitore
- le primitive di servizio sono caratterizzate da parametri tra cui:
 - informazione da trasferire
 - indicazione del destinatario
 - caratteristiche del servizio richiesto
 - ecc.

NOTA: le primitive di servizio dell'interfaccia socket in Python saranno trattate in laboratorio, dove vedrete meccanismi per creare le interfacce e passare i parametri tramite funzione.

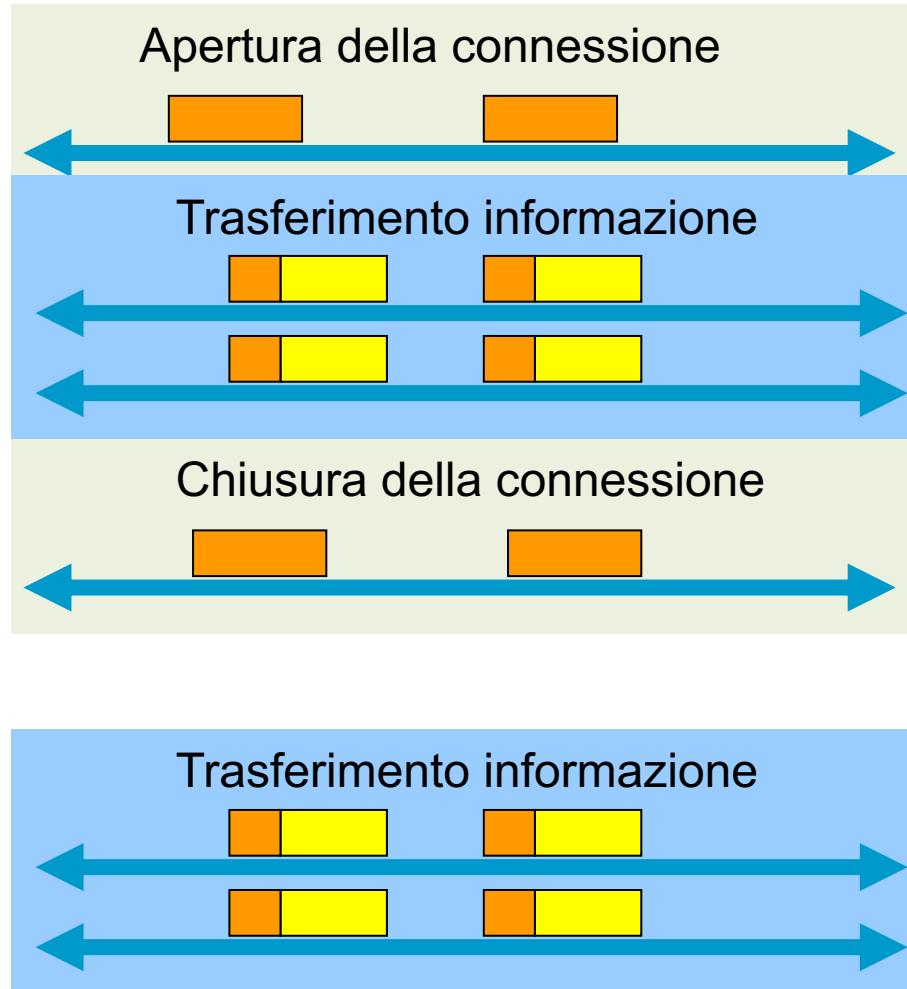


Primitive di servizio



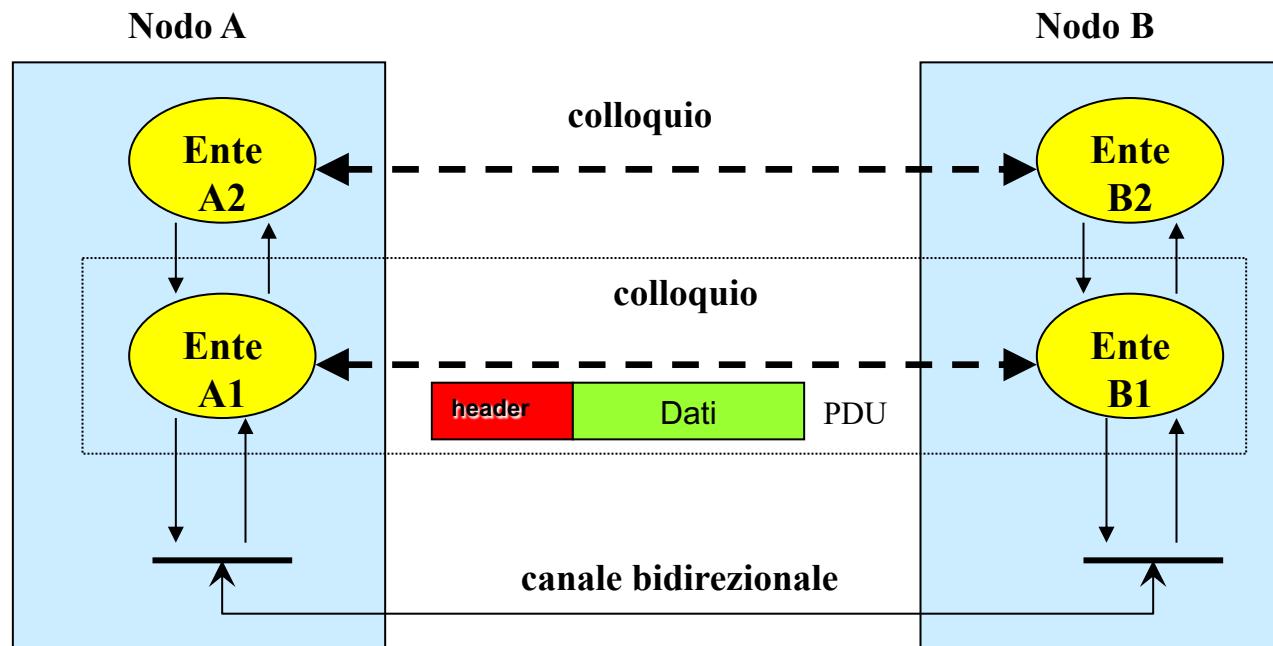
Caratteristiche del servizio di comunicazione

- **modalità a connessione**
 - instaurazione della connessione
 - trasferimento dell'informazione
 - rilascio delle connessione
- **modalità senza connessione**
 - una sola fase



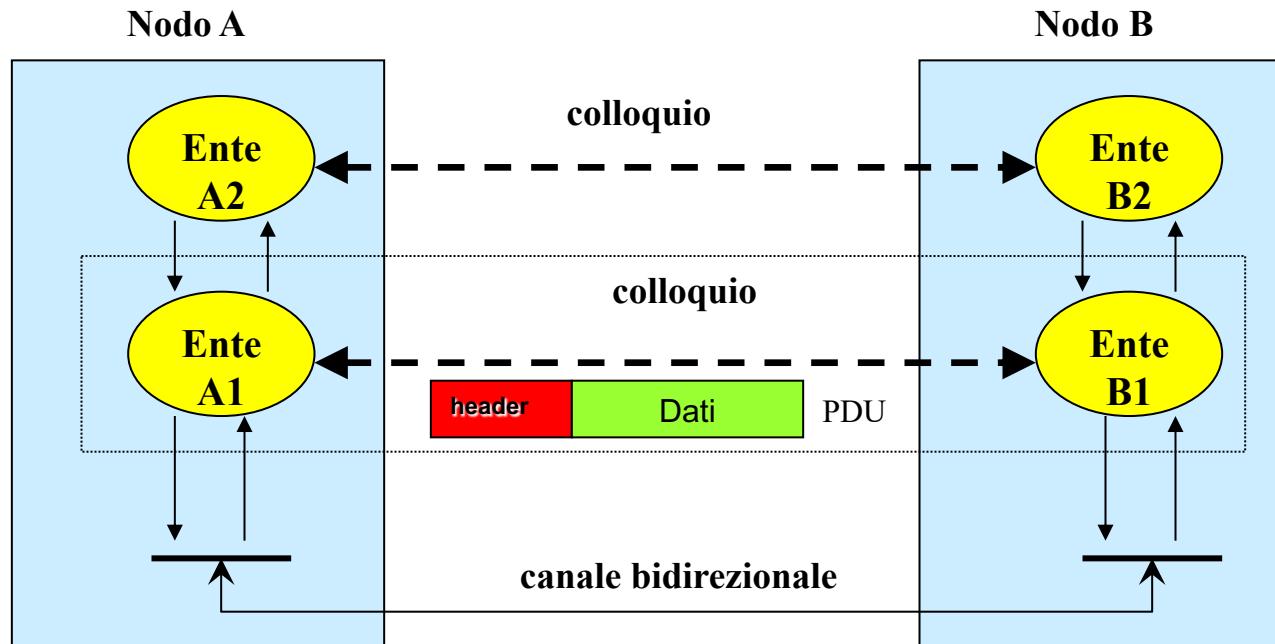
Livelli

- Le entità che colloquiano in un servizio di telecomunicazione possono anche offrire un servizio di comunicazione a entità terze, dette di **livello superiore**



Funzioni dei livelli

- Il servizio di comunicazione offerto al livello superiore è più ricco e complesso grazie alle funzioni implementate dal livello inferiore



Protocolli di comunicazione

- Le entità di un livello collaborano per fornire il servizio di comunicazione al livello superiore e si scambiano messaggi mediante il servizio offerto dal livello inferiore
- **Protocollo:**
 - Insieme delle regole che gestiscono il colloquio tra entità dello stesso livello
 - formato dei messaggi
 - informazioni di servizio
 - algoritmi di trasferimento
 - ecc.



Packet Data Units (PDU)

- Un protocollo utilizza per il colloquio tra entità dello stesso livello delle **unità di trasferimento dati** dette PDU o anche trame del protocollo
- Le PDU possono contenere:

informazione di servizio
necessaria al
coordinamento tra le
entità

informazione vera e
propria ricevuta dai
livelli superiori

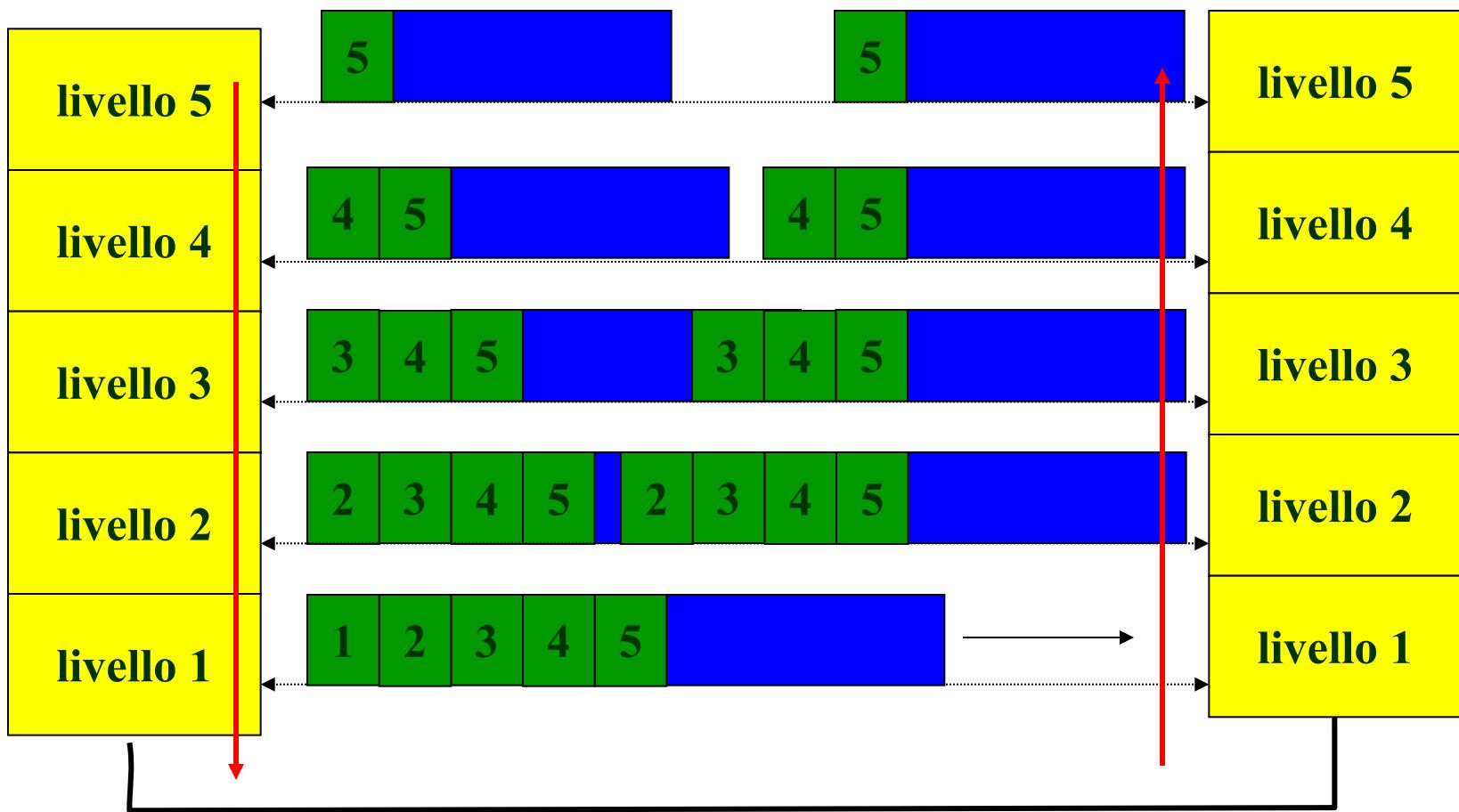


Architettura a livelli

- I servizi di comunicazione complessi possono essere articolati a livelli
 - da un livello che garantisce solo il trasporto dei bit
 - a un livello dove sono definite complessi servizi caratterizzati da molti parametri e funzionalità



Architettura completa



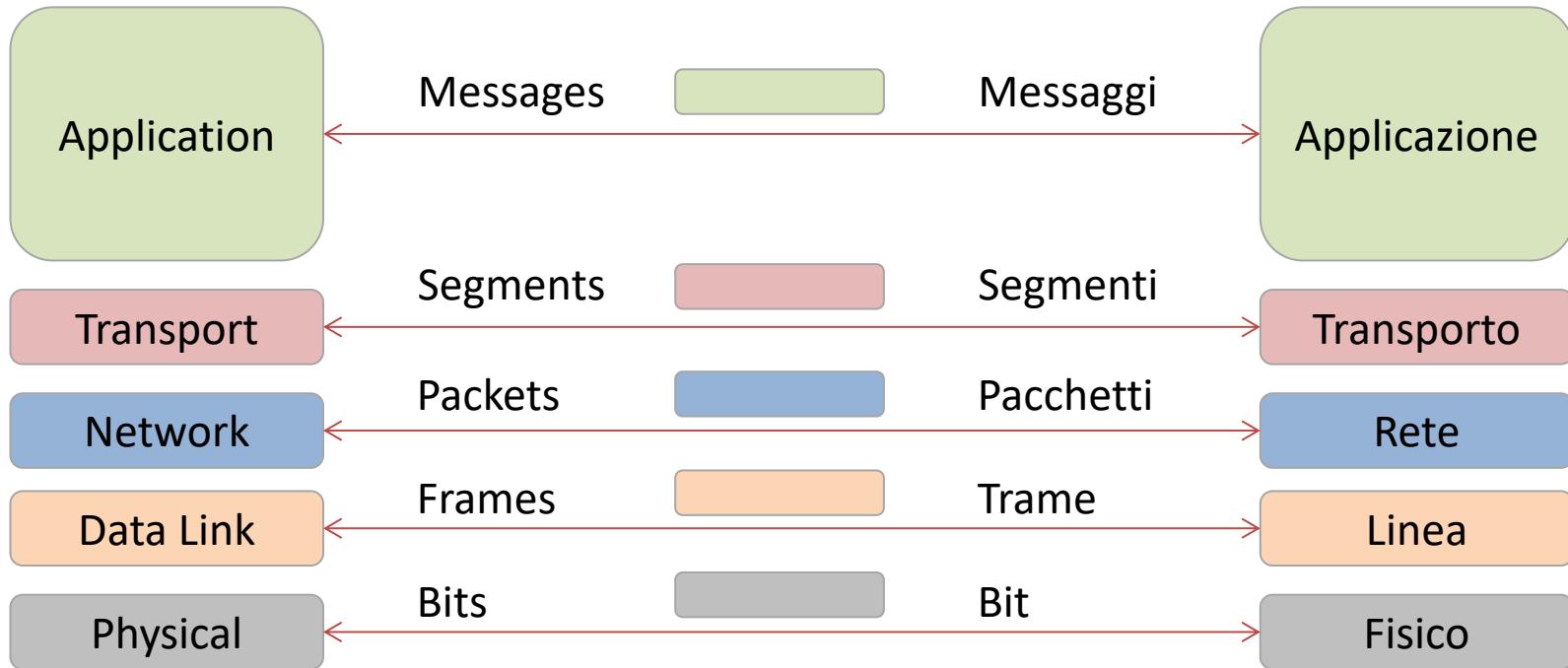
Perchè un'architettura a livelli?

Sistemi complessi:

- **Facile identificazione dei servizi (implementazione, discussione)**
- **Facile gestione ed update**
 - Cambiamenti in un livello sono trasparenti agli altri
- **Q: quando la suddivisione in livelli può essere pericolosa?**



Modello a livelli di Internet (TCP/IP)



Wireshark



test.pcap - Wireshark

File Edit View Go Capture Analyze Statistics Help

Filter: Expression... Clear Apply

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	192.168.0.2	Broadcast	ARP	Who has 192.168.0.2? Gratuitous ?
2	0.299139	192.168.0.1	192.168.0.2	NBNS	Name query NBSTAT *<00><00><00>
3	0.299214	192.168.0.2	192.168.0.1	ICMP	Destination unreachable (Port unreachable)
4	1.025659	192.168.0.2	224.0.0.22	IGMP	V3 Membership Report
5	1.044366	192.168.0.2	192.168.0.1	DNS	Standard query SKY _ldap._tcp.nbg
6	1.048652	192.168.0.2	239.255.255.250	UDP	Source port: 3193 Destination port: 239.255.255.250
7	1.050784	192.168.0.2	192.168.0.1	DNS	Standard query SOA nb10061d.wm004.
8	1.055053	192.168.0.1	192.168.0.2	UDP	Source port: 1900 Destination port: 239.255.255.250
9	1.082038	192.168.0.2	192.168.0.255	NBNS	Registration NB NB10061D<00>
10	1.111945	192.168.0.2	192.168.0.1	DNS	Standard query A proxy.conf.wm004.
11	1.226156	192.168.0.2	192.168.0.1	TCP	3196 > http [SYN] Seq=0 Len=0 MSS
12	1.227282	192.168.0.1	192.168.0.2	TCP	192.168.0.1>3196 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1

Frame 11 (62 bytes on wire, 62 bytes captured)
Ethernet II, Src: Netgear_2d:75:9a (00:0b:5d:20:cd:02), Dst: Netgear_2d:75:9a (00:09:5b:2d:75:9a)
Internet Protocol, Src: 192.168.0.2 (192.168.0.2), Dst: 192.168.0.1 (192.168.0.1)
Transmission Control Protocol, Src Port: 3196 (3196), Dst Port: http (80), Seq: 0, Len: 0
Source port: 3196 (3196)
Destination port: http (80)
Sequence number: 0 (relative sequence number)
Header length: 28 bytes
Flags: 0x0002 (SYN)
Window size: 64240

0000 00 09 5b 2d 75 9a 00 0b 5d 20 cd 02 08 00 45 00 ...[-u...]E.
0010 00 30 18 48 40 00 80 06 61 2c c0 a8 00 02 c0 a8 ..O.H@... a.....
0020 00 01 0c 7c 00 50 3c 36 95 f8 00 00 00 00 70 02 ...;P<6p.
0030 fa f0 27 e0 00 00 02 04 05 b4 01 01 04 02

File: "D:/test.pcap" 14 KB 00:00:02 P: 120 D: 120 M: 0



Passare ad attività con wireshark per analisi livelli protocollari



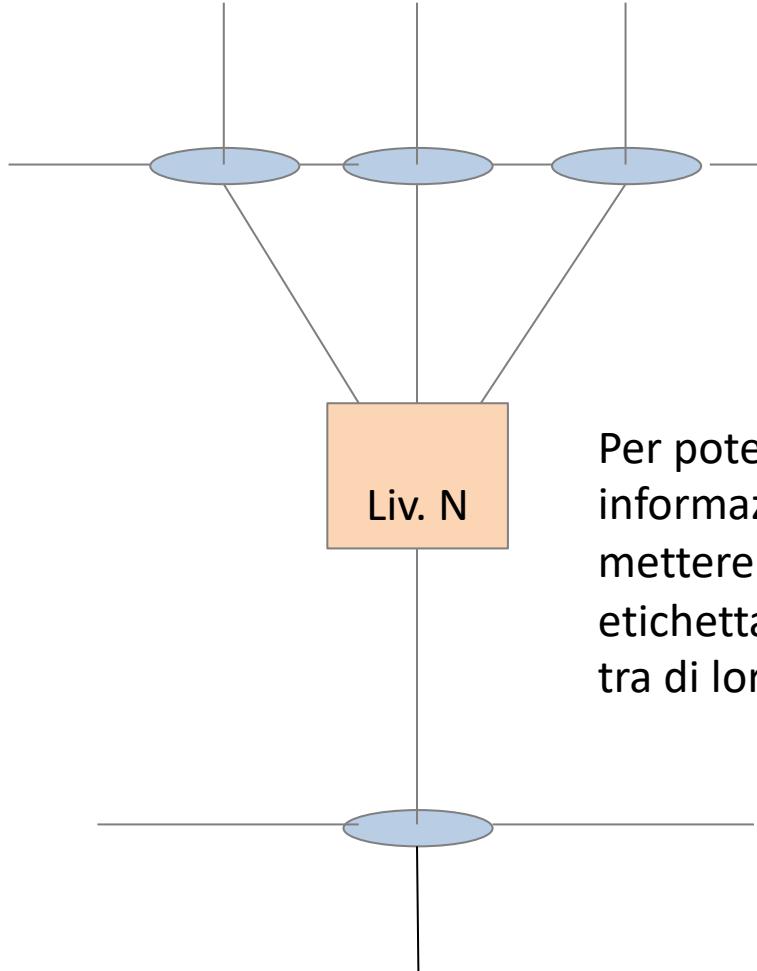
Funzioni

- **Molteplici sono le funzioni che possono essere svolte da un livello**
- **Vediamo alcuni esempi importanti concentrandoci sui principi di base, poi i dettagli saranno ripresi più avanti**
 - Esempi:
 - Funzione di Multiplazione e De-multiplazione
 - Funzione di controllo d'errore
 - Funzione di instradamento

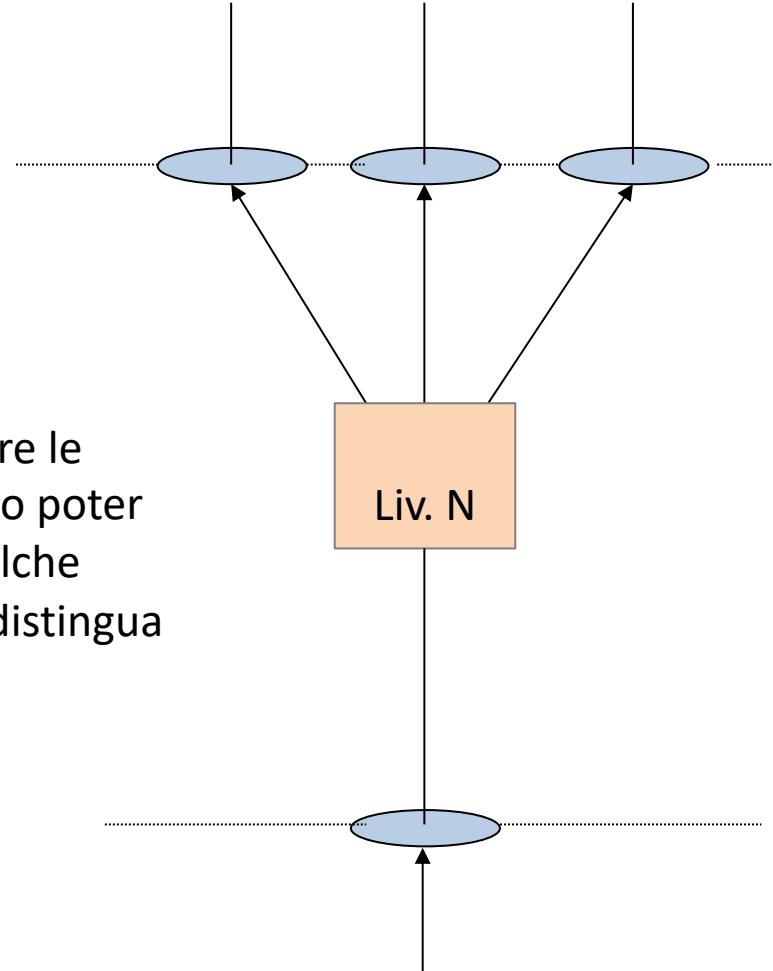


Esempio: Funzione Multiplazione

- Più livelli superiori possono condividere lo stesso servizio di comunicazione

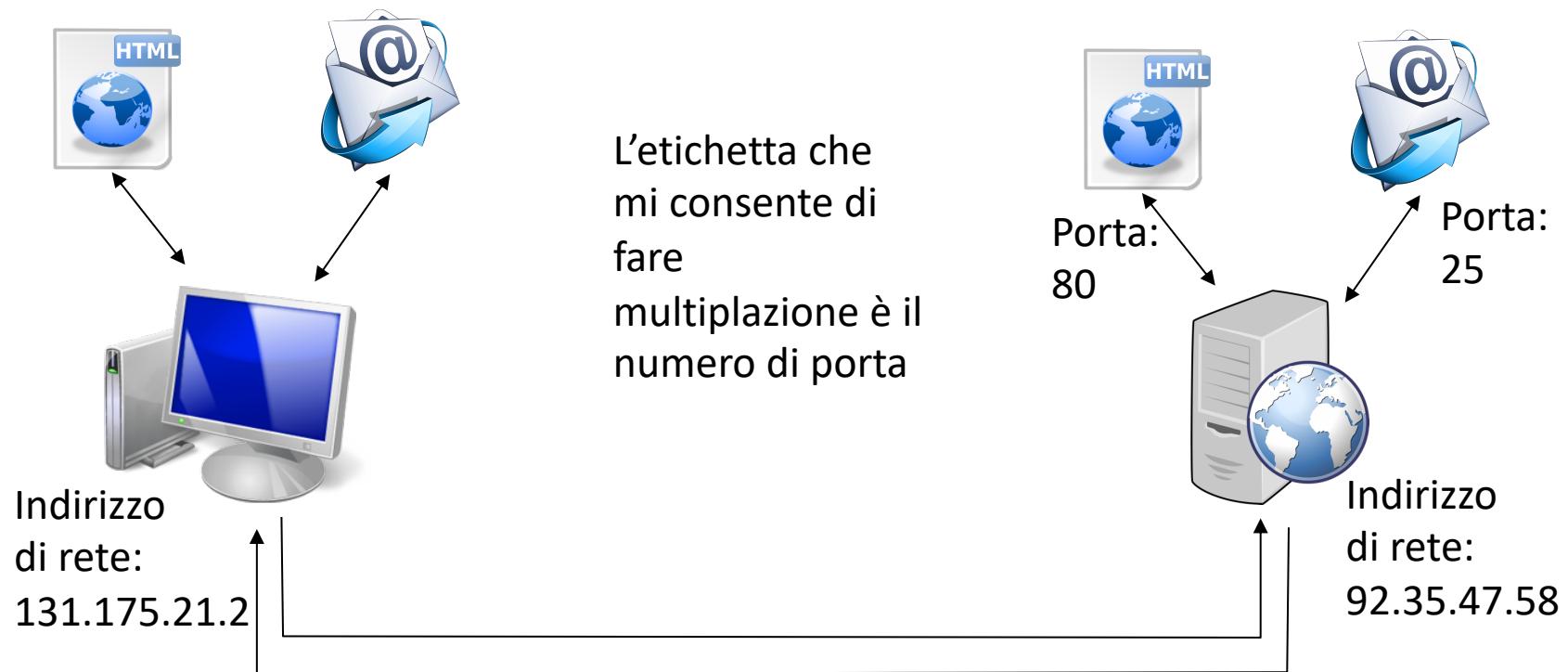


Per poter separare le informazioni devo poter mettere una qualche etichetta che le distingua tra di loro



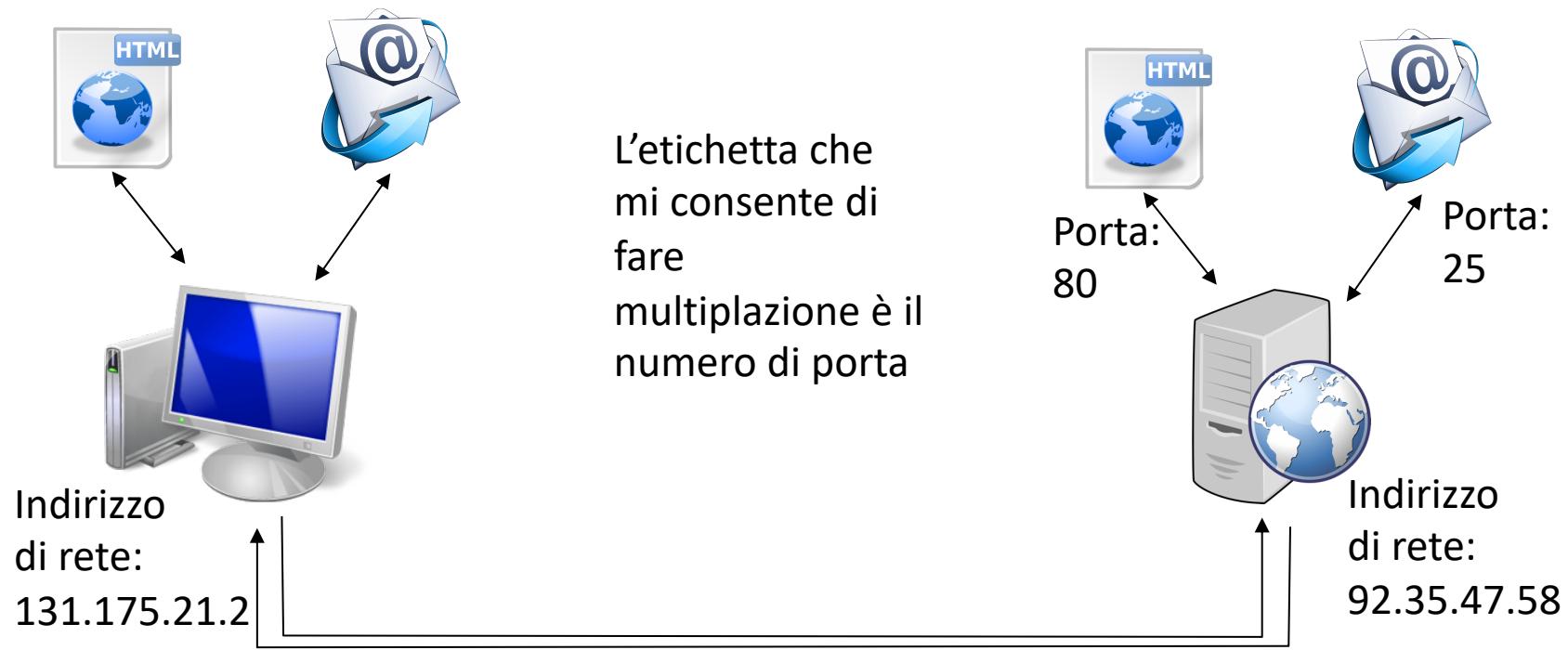
Esempio: Funzione Multiplazione

- Più applicazioni condividono la stessa interfaccia di rete (identificata da un suo indirizzo di rete)
- Le applicazioni sono distinte in base a un numero di porta



Esempio: Funzione Multiplazione

- Più applicazioni condividono la stessa interfaccia di rete (identificata da un suo indirizzo di rete)
- Le applicazioni sono distinte in base a un numero di porta

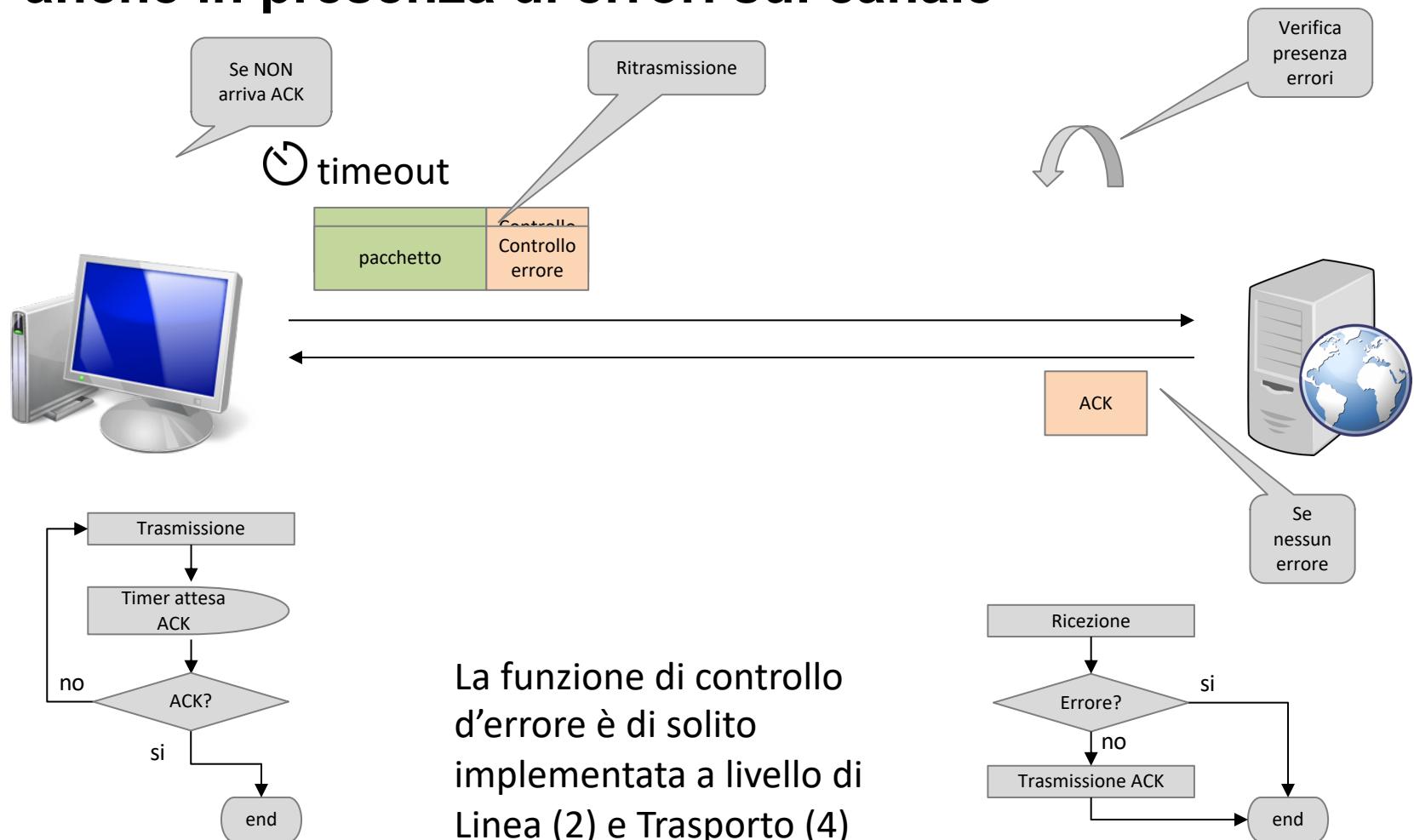


La funzione di multiplazione può essere implementata in tutti i livelli



Esempio: Funzione di controllo d'errore

- E' possibile garantire affidabilità delle comunicazioni anche in presenza di errori sul canale

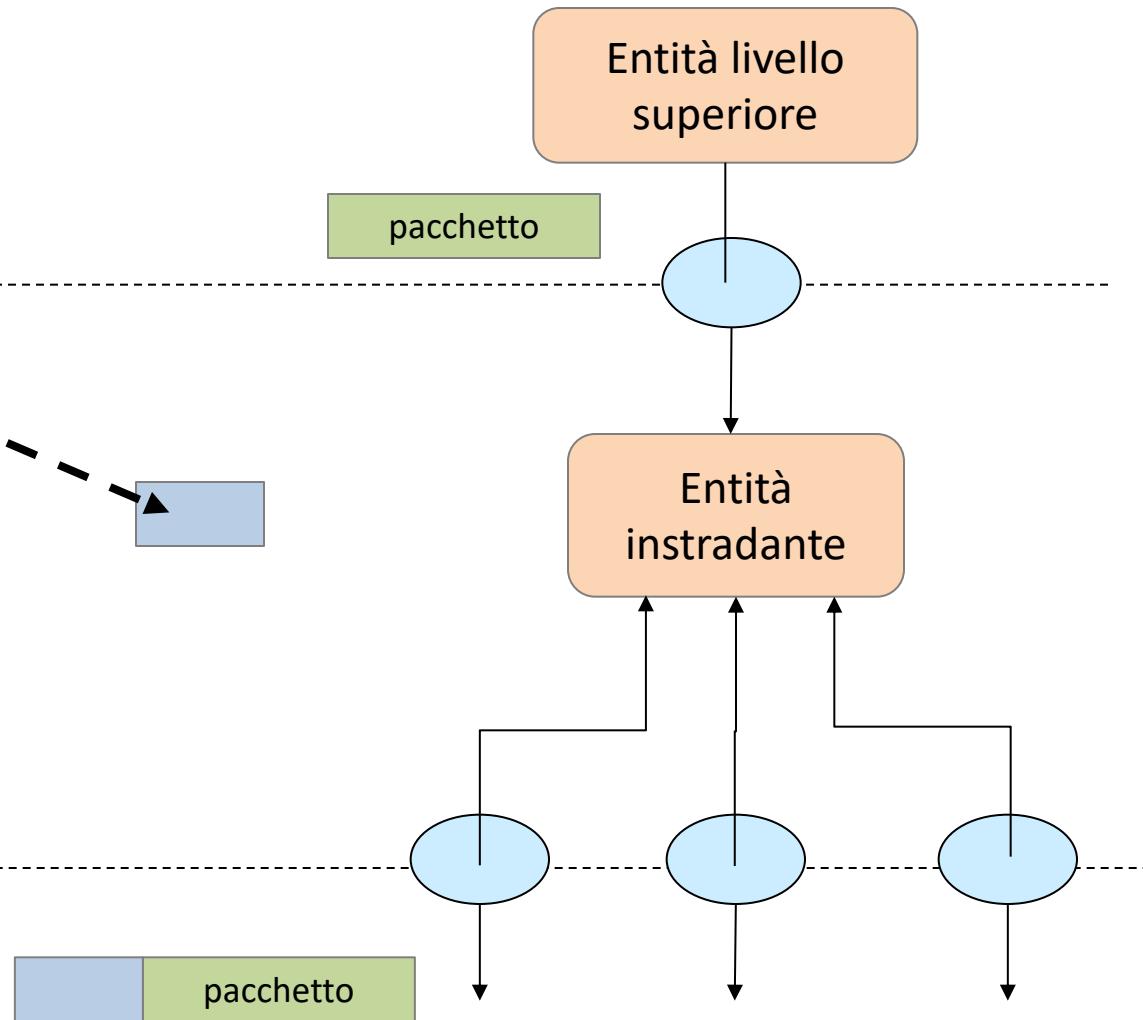


Esempio: Funzione di instradamento (routing)

Il pacchetto può arrivare dal livello superiore passato col parametro **INDIRIZZO**

L'indirizzo e viene scritto nell'header perché possa essere instradato da altri nodi

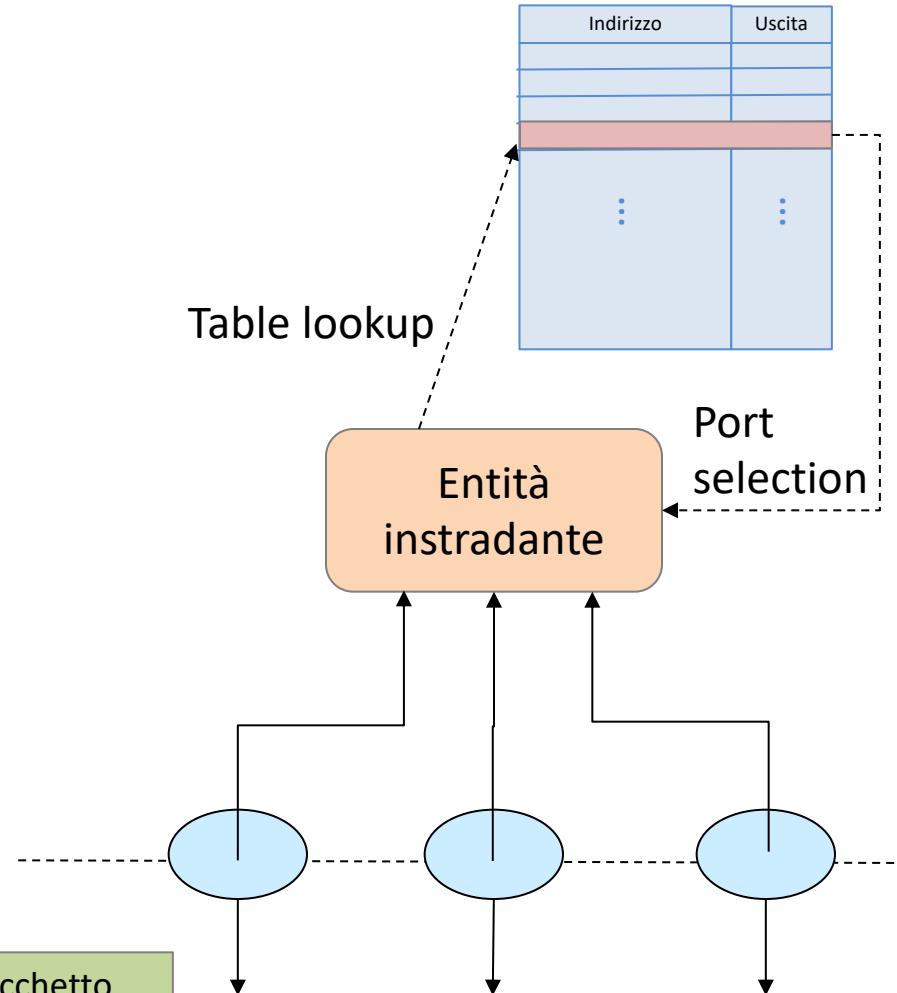
Il pacchetto può arrivare da una porta d'ingresso



Esempio: Funzione di instradamento (routing)

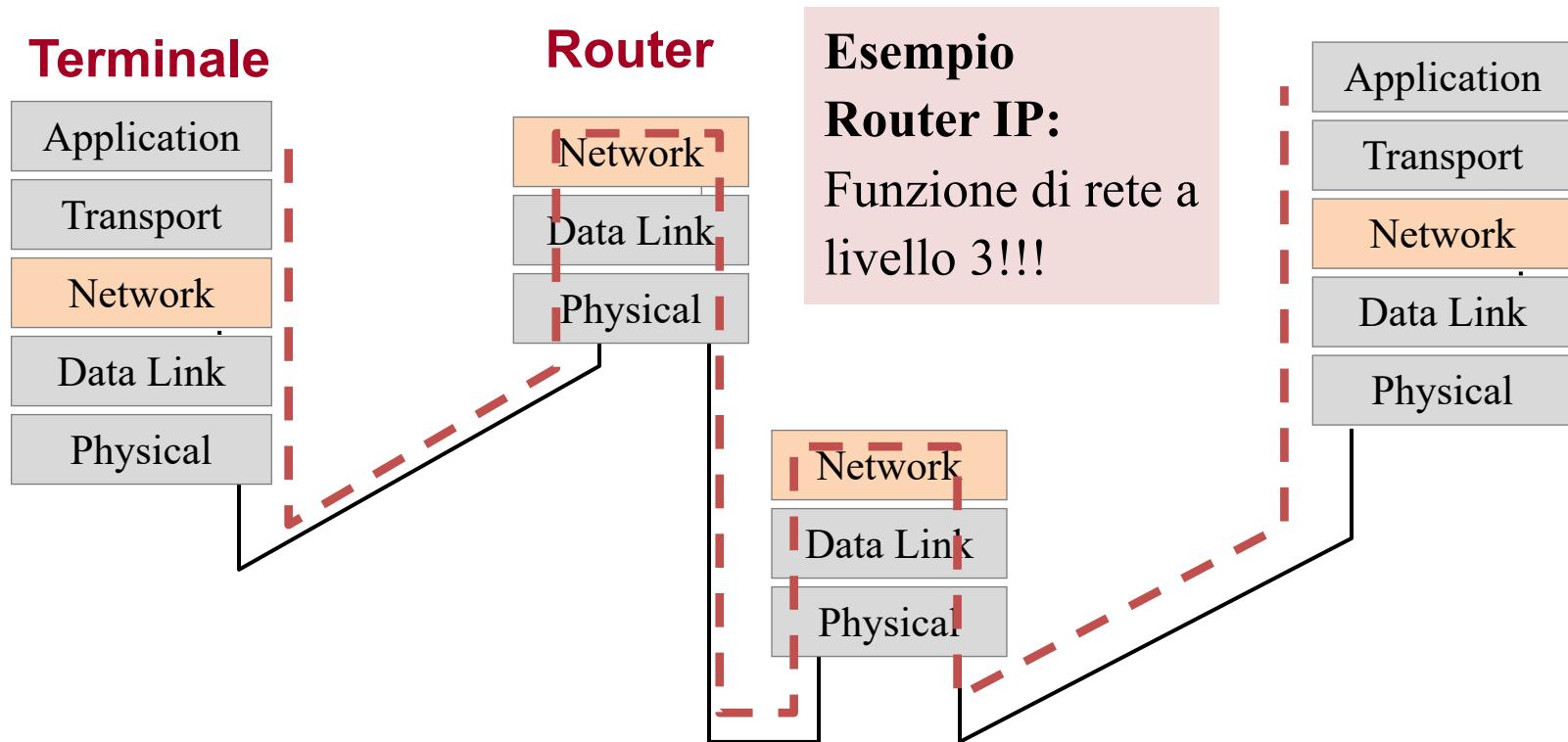
L'entità instradante decide dove inoltrare (forwarding) il pacchetto sulla base di una tabella di instradamento che viene consultato usando l'indirizzo come parametro di ricerca

OSSERVAZIONE: Se il pacchetto arriva da una porta d'ingresso, non sale mai più in alto nei livelli salvo che non sia giunto alla destinazione finale



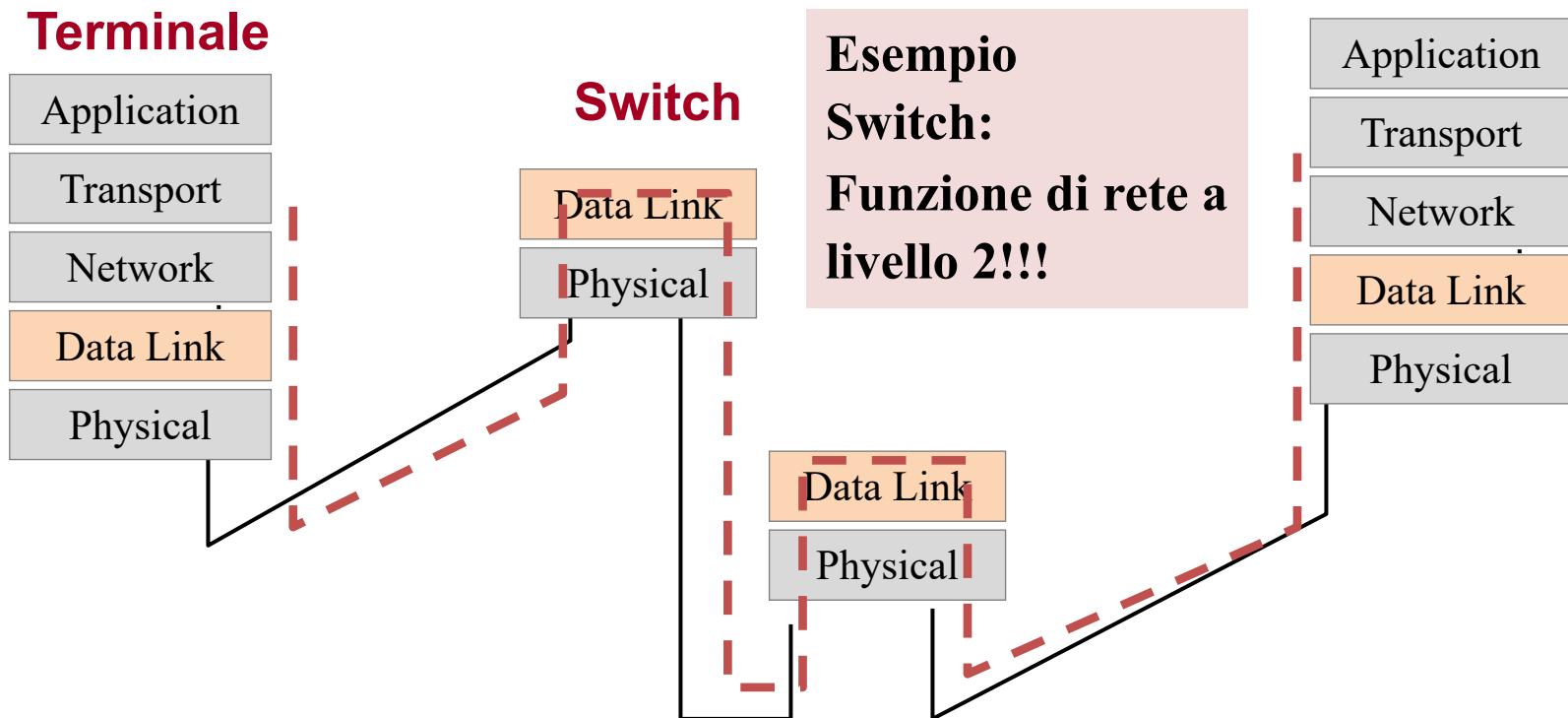
Esempio: Funzione di instradamento (routing)

- I nodi di rete non implementano i livelli superiori a quello di instradamento
- La funzione di instradamento può essere implementata in vari livelli in base alle circostanze (vedremo in dettaglio)
- Esempio: **Router IP**



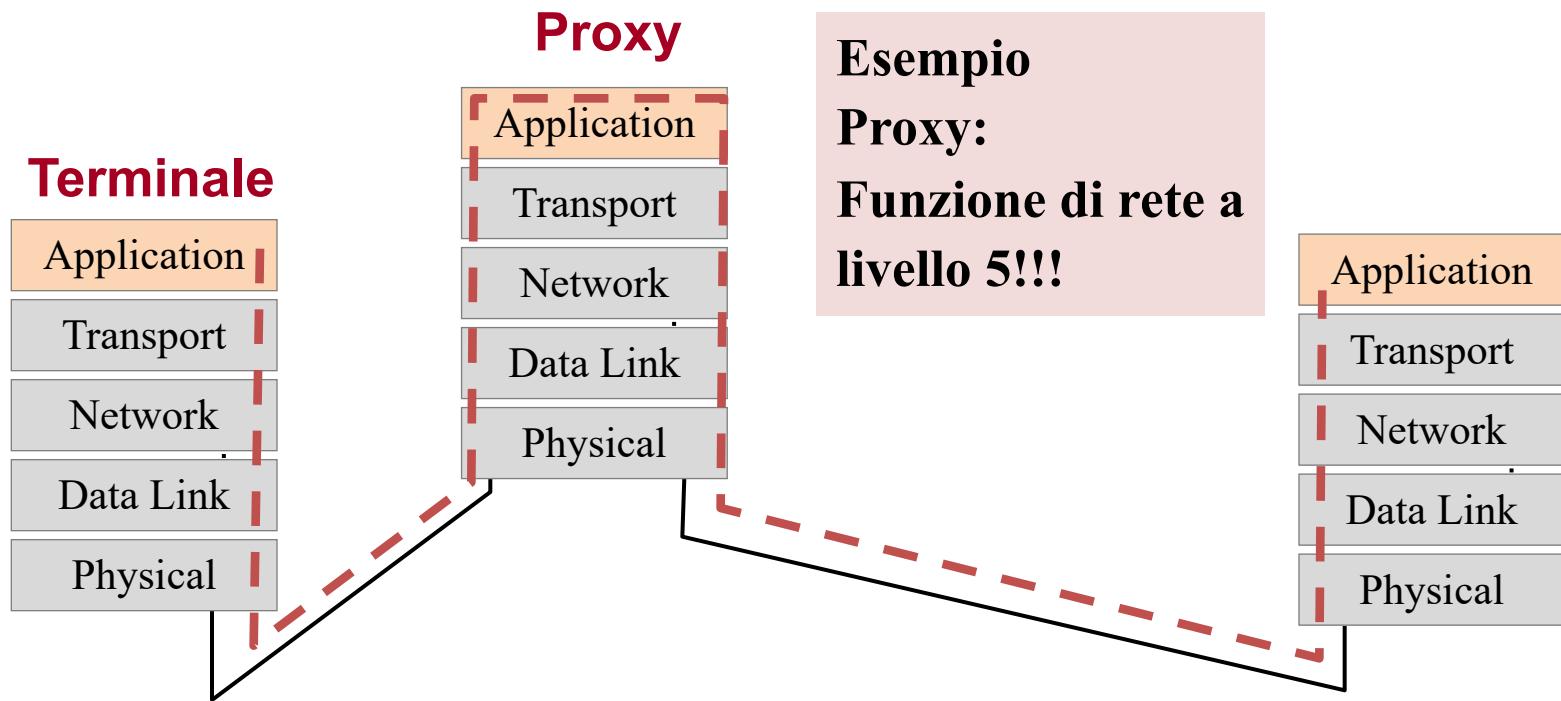
Esempio: Funzione di instradamento (routing)

- Esempio: LAN Switch



Esempio: Funzione di instradamento (routing)

- Esempio: proxy



Esempio: Funzione di instradamento (routing)

- Scelta dell'uscita avviene sulla base delle informazioni memorizzate in una tabella

tabella di routing	
indirizzo	uscita

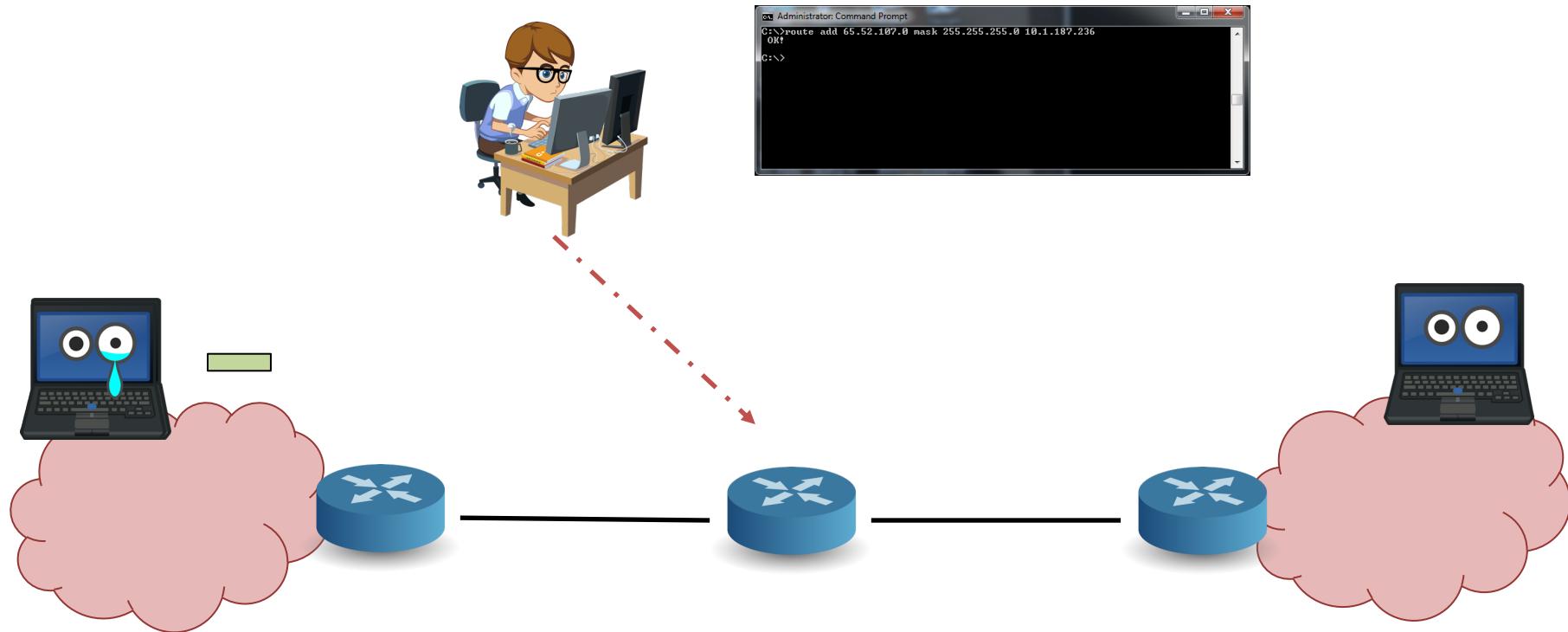
Ma chi scrive le tabelle di
instradamento



Esempio: Funzione di instradamento (routing)

“Human Defined Networking”

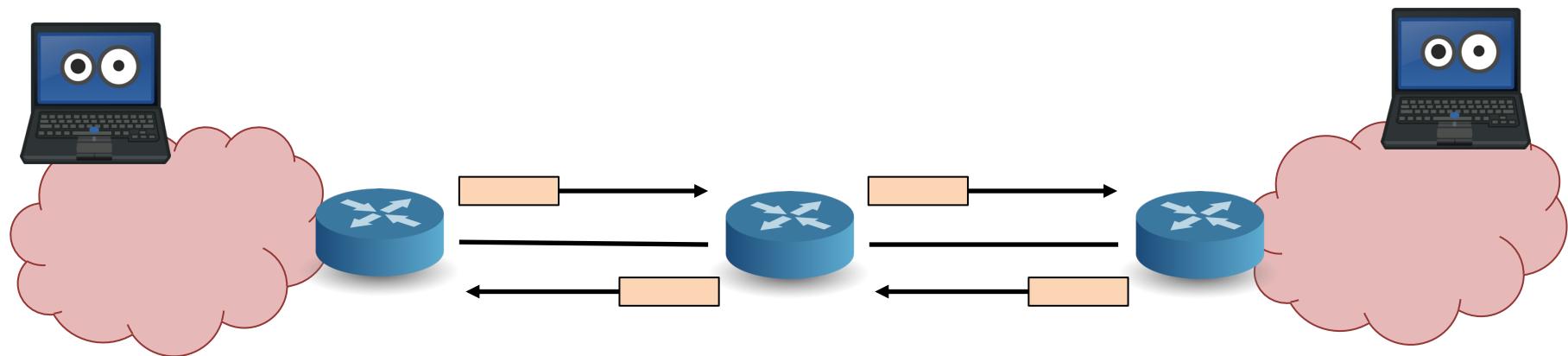
- Le tabelle di instradamento possono essere **scritte a mano** (faremo molti esercizi sulle tabelle di instradamento)
- Nei router IP le rotte configurate manualmente sono dette **rotte statiche**



Esempio: Funzione di instradamento (routing)

Protocolli di instradamento distribuiti

- L'approccio classico è però basato su uno **scambio di informazioni tra i router** che consente di compilare le tabelle di instradamento in modo **automatico e distribuito**
- Esempio:
 - MAC learning (si veda livello di linea)
 - Instradamento per cammini minimi (si veda livello IP)



Esempio: Funzione di instradamento (routing)

Software Defined Networking

- L'approccio emergente denominato **SDN** consente di operare come nell'approccio manuale, ma con un'**applicazione software centralizzata** che compila e modifica le tabelle di instradamento

